

---

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Kvalifikace postupu svařování konstrukcí pro  
Offshory**

Qualification of Welding Procedures for Offshore Structures

Student:

Bc. Antonín Blahák

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

Ostrava 2015

---

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Antonín Blahák**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 20 Strojírenská technologie  
Téma: **Kvalifikace postupu svařování konstrukcí pro Offshory**  
**Qualification of Welding Procedures for Offshore Structures**

Zásady pro vypracování:

- 1) Popište offshore konstrukce včetně požadavků na ně kladených.
- 2) Navrhněte metody svařování pro vybrané typy svarových spojů použitých na konstrukcích.
- 3) Zpracujte technologické postupy pro vybrané typy svarových spojů.
- 4) Realizujte WPQR s přihlédnutím na požadavky normy Norsok M 101.
- 5) Proved'te diskuzi dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T. *Svařování I: Učební texty*. 1. vydání. VŠB-TU Ostrava. 2005. 133 s. ISBN 80-248-0870-6

KOUKAL, J., SCHWARZ, D., HAJDÍK, J. *Materiály a jejich svařitelnost: Učební texty*. 1. vydání. VŠB-TU Ostrava. 2009. 240 s. ISBN 978-80-248-2025-5

HRIVŇÁK, I. *Teória zvariteľnosti kovov a zliatin*. 1. vydání. VSAV Bratislava. 1989. 344 s. ISBN 80-224-0016-5

ČSN EN ISO 15614-1 *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupů svařování - Část. 1: Obloukové a plamenové svařování ocelé a obloukové svařování niklu a slitin niklu*. Praha: Český normalizační institut, 2005

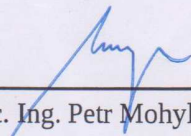
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

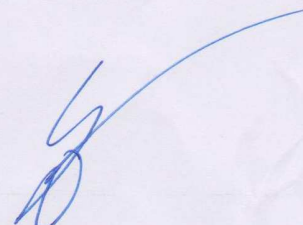
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.**

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Drahomíru Schwarzovi, CSc., za odborné vedení, konzultace a pomoc při tvorbě diplomové práce.

**Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....12.5.2015.....

.....*Blahák*.....

Bc. Antonín Blahák



### Prohlášení studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo,
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....12.5.2015.....

.....Blahák.....

Bc. Antonín Blahák

Adresa trvalého pobytu: **Antonín Blahák**  
**Generála Svobody 1219**  
**783 91 Uničov**

## ANOTACE

BLAHÁK, A. **Kvalifikace postupu svařování konstrukcí pro Offshory.**

VŠB-Technická univerzita Ostrava 2015, 86 stran

Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní

Diplomová práce, vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

Diplomová práce se zabývá kvalifikací postupu svařování Offshore-konstrukcí dle normy ČSN EN ISO 15614-1 s požadavky předpisu Norsok M101. Popisuje zvláštní požadavky na materiál, vhodnou metodu svařování pro reálný případ, technologický postup pro zhotovení čtyř „základních“ (reprezentačních) typů svarových spojů. NDT a DT pro dosažení kvalifikace svařování, jejich provedení a výsledky.

## ANNOTATION

BLAHÁK, A. **Qualification of Welding Procedures for Offshore Structures**

VŠB Technical University of Ostrava 2015, 86 pages

Department of Mechanical Technology, Faculty of Mechanical Engineering

Diploma Thesis, Advisor of Diploma Thesis: doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

This thesis deals with the qualification of welding procedures for Offshore-constructions according to ČSN EN ISO 15614-1 with the requirements of Norsok M101. It describes the specific material requirements, suitable welding method for the real case, technological process for the fabrication of four "basic" (representative) types of welded joints, as well as. non-destructive and destructive testing for achieving qualification of welding performance and their results.

## Seznam zkratek

Značení	Název a jednotka
CEV .....	Uhlíkový ekvivalent
CTOD.....	Crack Tip Opening Displacement – stanovení lomové houževnatosti
ČSN.....	Česká státní norma
DT .....	Destructive Testing – destruktivní zkoušení
ETLP .....	Druh offshore konstrukce – Prodloužená plošina s napětím v nohou
FPS.....	Floating Production Systém – plovoucí výrobní systém
FPSO.....	Druh offshore konstrukce – Floating production storage and offloading
GMAW.....	Gas Metal Arc Welding
HAZ .....	Heat Affected Zone – tepelně ovlivněná oblast
HV .....	Tvrdost dle Vickerse
CHAZ.....	Critical Heat Affected Zone – kritická tepelně ovlivněná oblast
ISO .....	Mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization)
MAG .....	Metal Active Gas - svařování tavící se kovovou elektrodou v aktivní ochranné atmosféře
MIG.....	Metal Inert Gas – svařování tavící se kovovou elektrodou v inertní ochranné atmosféře
MMA .....	Manual Metal Arc – ruční svařování obalenou elektrodou
NDT .....	Non-destructive Testing – nedestruktivní zkoušení
P <sub>cm</sub> .....	Uhlíkový ekvivalent dle Ita a Bessyho
pWPS .....	Preliminary Welding Procedure Specification – předběžná specifikace postupu svařování
Re .....	Minimální stanovená mez kluzu [MPa]
Rm.....	Minimální stanovená mez pevnosti [MPa]
SK .....	Svarový kov
TLP .....	Druh offshore konstrukce – Plošina s napětím v nohou
TLP .....	Tension Leg Platform - plošina s předepjatými lany
TOO .....	Tepelně ovlivněná oblast

WPQR.....Welding Procedure Qualification Record – záznam kvalifikace postupu  
svařování

ZM .....Základní materiál

Ar .....Argon

B.....Bor

C.....Uhlík

CO<sub>2</sub>.....Oxid uhličitý

Cr .....Chrom

Cu.....Med'

He.....Hélium

Mn.....Mangan

Mo .....Molybden

Ni .....Nikl

O<sub>2</sub> .....Kyslík

Si .....Křemík

V.....Vodík



## Osnova

<b>1</b>	<b>Popis offshore konstrukcí včetně požadavků na ně kladených .....</b>	<b>12</b>
1.1	Základní typy offshore konstrukcí .....	12
1.1.1	Fixed Platform - Pevná plošina.....	13
1.1.2	Compliant Tower - Kompatibilní věž.....	13
1.1.3	Sea star - Mořská hvězda .....	13
1.1.4	Floating production systems (FPS) - plovoucí výrobní systémy .....	13
1.1.5	Tension leg platform (TLP) - Plošina s předepjatými lany .....	14
1.1.6	Sub sea system - Podmořský systém .....	14
1.1.7	SPAR platform - Nosníková plošina .....	14
<b>2</b>	<b>Metody svařování pro vybrané typy svarových spojů použitých na konstrukcích .....</b>	<b>15</b>
2.1	Metoda svařování MAG a MIG .....	15
2.1.1	Princip metody .....	15
2.1.2	Přenos kovu.....	17
2.1.3	Metalurgické reakce při svařování v aktivních ochranných plynech .....	20
2.1.4	Ochranné plyny .....	20
2.1.5	Parametry a podmínky svařování .....	21
2.2	Přídavný materiál .....	24
2.2.1	Plněné dráty .....	24
2.3	Základní materiál a požadavky na něho kladené .....	25
2.3.1	Hodnota uhlíkového ekvivalentu (CEV) a $P_{cm}$ .....	26
2.4	Reprezentační typy svarových spojů pro danou konstrukci.....	27
2.4.1	Vícevrstvé koutové sváry.....	28
2.4.2	K-svar, jednovrstvý koutový svar .....	29
2.4.3	$\frac{1}{2}$ V svar na trubce .....	30
2.5	Přídavný materiál pro vybrané typy svarových spojů.....	31
2.6	Příprava svarových hran.....	32
<b>3</b>	<b>Realizace WPQR dle ČSN EN ISO 15614-1 s přihlédnutím na požadavky normy Norsok M101 .....</b>	<b>33</b>
3.1	Požadavky normy Norsok M101 nad rámec ČSN EN 15614-1 .....	33
3.2	Výroba vzorků pro kvalifikaci WPQR.....	34
3.2.1	Předběžná specifikace postupu svařování pWPS .....	35

3.2.2	Odběr zkušebních vzorků – rozřezové plány.....	50
3.3	Rozsah nedestruktivního a destruktivního zkoušení .....	52
3.3.1	Koutové sváry (WPQR-03, 04, 05, 06) .....	52
3.3.2	½ V svar na trubce (WPQR-01, 02).....	53
3.3.3	K-svar na desce (WPQR-07) .....	54
3.4	Stanovení lomové houževnatosti.....	55
3.5	Výsledky destruktivního zkoušení .....	56
3.5.1	Koutový svar a3 .....	56
3.5.2	Koutový svar a4 .....	57
3.5.3	Koutový svar a5 .....	59
3.5.4	Koutový svar a8 .....	60
3.5.5	½ V svar na trubce Ø 219,1 mm x 23,01 mm.....	62
	K-svar na plechu .....	67
3.6	Rozsah realizovaných WPQR.....	72
3.6.1	Koutový svar a3 .....	72
3.6.2	Koutový svar a4 .....	73
3.6.3	Koutový svar a5 .....	74
3.6.4	Koutový svar a8 .....	75
3.6.5	½ V svar na trubce Ø 219,1 mm x 23,01 mm.....	76
3.6.6	K-svar na desce tloušťky 50mm .....	77
<b>4</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>78</b>
<b>5</b>	<b>Literatura .....</b>	<b>79</b>

## Úvod

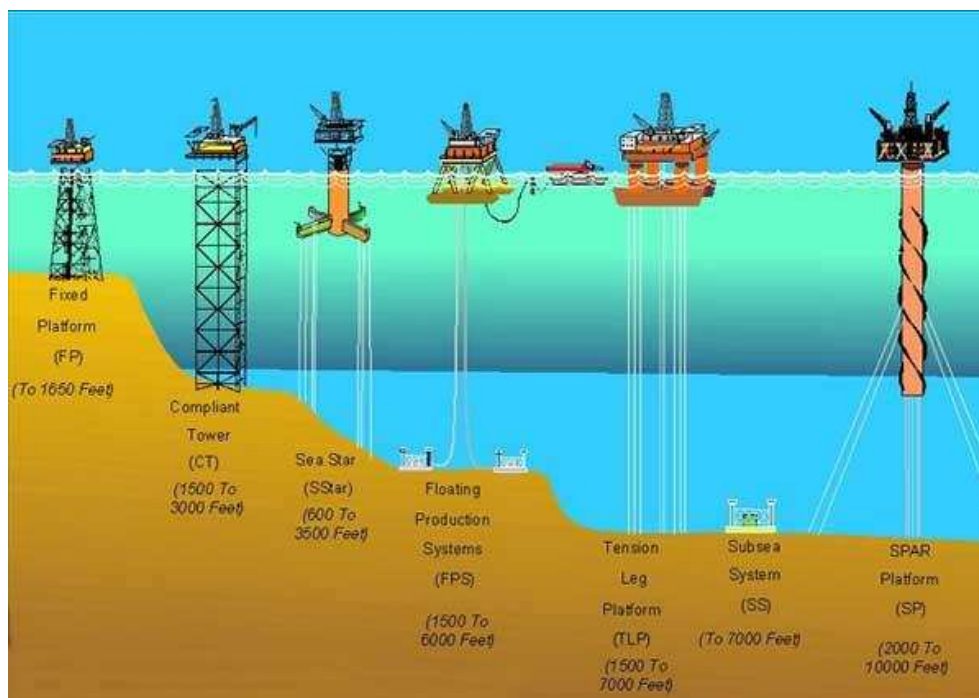
Konstrukce, které jsou označeny jako „Offshore“, jsou konstrukce vystavené přímořskému prostředí a konstrukce ponořené do mořské nebo brakické vody (voda, která má koncentraci solí mezi mořskou a sladkou vodou). Na výrobu těchto konstrukcí jsou kladeny speciální požadavky, aby byly schopné odolat náročným korozním podmínkám a namáhání, kterým jsou vystaveny po dobu své životnosti, a aby se minimalizovalo nebezpečí poruch s možnými dopady na bezpečnost a provozní náklady. V této diplomové práci popíši průběh kvalifikace svařování dle norem ČSN EN ISO 15614-1 s doplněním požadavků normy NORSOK M101. Základní rozdíl v požadavcích kvalifikace vychází právě z nároků prostředí, ve kterém bude sloužit. To se projevuje již v požadavcích na základní materiál a následně pak při výběru metody svařování a přídavného materiálu. Samotná kvalifikace svařování je popsána od výroby svarových vzorků až po výsledky zkoušení a rozsahy daných kvalifikací.

# 1 Popis offshore konstrukcí včetně požadavků na ně kladených

Mořské stavby jsou nejnáročnější inženýrské konstrukce druhé poloviny 20. století, které svými požadavky předčí visuté mosty, televizní věže i mrakodrapy. Ropa se začala v moři těžit r. 1940 (na pobřeží Louisiany v USA). Po roce 1950 těžba ropy z mořského dna stoupla natolik, že se dnes tímto způsobem čerpá zhruba čtvrtina veškeré ropy. V moři se vedle ropy těží šelfový písek, bohatý na diamanty a některé kovy, zvláště cín - v Thajsku a Indonésii se tak dobývá 10 % světové produkce cínu.

Z podmořských ložisek dnes těží více než 40 zemí světa. Vrtné plošiny se hodně rozvinuly zejména za posledních 20 let. Těží se nejčastěji v mělkých šelfových mořích, které mají hloubku zhruba 200-400 m. Stavba mořských plošin se setkává nejen s mimořádně obtížnými základovými poměry, ale i se zárudnostmi klimatu. Tyto konstrukce se navrhují tak, aby byly schopny vzdorovat stoleté bouři, podobně jako se hráze navrhují na tisíciletou povodeň. Takovou bouři provázejí v Severním moři vlny o výšce až 30 metrů. Životnost plošiny je dána kapacitou ložiska. [17]

## 1.1 Základní typy offshore konstrukcí



*Obr. 1 Schematická ukázka typů offshore konstrukcí [23]*

### **1.1.1 Fixed Platform - Pevná plošina**

Tyto plošiny jsou postaveny na betonových anebo ocelových nohou zakotvených přímo na mořském dně, které podepírají palubu s prostorem pro vrtné soupravy, výrobní zařízení a ubikace osádky. Tyto plošiny jsou nehybné a navrhují se pro dlouhodobé použití. Na těchto plošinách jsou použity různé typy konstrukcí: ocelový plášť, beton, plovoucí ocel a dokonce i plovoucí beton. Betonové konstrukce mají často vestavěné úložné nádrže pro těženou surovinu. Pevné plošiny se používají při těžbě v hloubkách do 520 m a mohou být také použity v blízkosti břehu.

### **1.1.2 Compliant Tower - Kompatibilní věž**

Kompatibilní věž je konstrukce pevně spojená s podložím. Plošina se skládá z úzkých, flexibilních (kompatibilních) věží a pilotového základu, který podpírá palubu. Kompatibilní věže jsou navrženy tak, aby udržely značné boční průhyby a síly, a jsou obvykle používány v hloubkách vody v rozmezí 450 - 900 m. V současné době je nejhlubší věž Chevron Petronius 623 m pod hladinou. S využitím flexibilních prvků, jako jsou nohy nebo axiálních trubky, se snižuje rezonance a tím jsou zeslabeny síly vln. Nicméně, s ohledem na náklady, se stává neekonomické stavět kompatibilní věže v hloubkách větších než 1000 m. V takovém případě je vhodnější plovoucí plošina, a to i při vyšších nákladech stoupacího potrubí a kotvení. Navzdory své flexibilitě je systém kompatibilních věží dostatečně silný, aby odolal podmínkám hurikánu.

### **1.1.3 Sea star - Mořská hvězda**

Tato plošina kombinuje osvědčené technologie plošin s předepjatými lany (TLP) s technologií plošin pro mělkou vodu. Plošina "Sea Star" má využití jako nezávislá výrobní plošina. Má poměrně malé rozměry a nízká cena je důležitou výhodou. Malé rozměry a kotvení předepjatými lany umožňuje SeaStar plošině instalaci poměrně blízko jiné plošiny. Také se používá jako pomocná plošina k jiným stavbám.

### **1.1.4 Floating production systems (FPS) - plovoucí výrobní systémy**

Jedná se o plavidlo používané pro těžbu ropy a plynu, pro výrobu a zpracování uhlovodíků a pro skladování oleje. FPS plavidlo je určeno pro příjem uhlovodíků produkovaných samo o sobě, z blízkých plošin nebo podmořských modulů. Je schopno zpracovávat a ukládat ropu, než může být vyložena na tanker nebo přepravena

potrubím. Výhodou FPS je jejich snadná instalace. Nevyžadují místní infrastruktury potrubí pro export ropy. Proto jsou plovoucí výrobní systémy zvláště účinné v odlehlých či hlubinných místech, kde potrubí na mořském dně není nákladově efektivní. To může zajistit ekonomicky atraktivní řešení pro menší ropná pole, která mohou být vyčerpána za několik let a nemají ospravedlněny náklady na instalaci potrubí.

### **1.1.5 Tension leg platform (TLP) - Plošina s předepjatými lany**

Plošina s předepjatými lany je vertikálně ukotvená plovoucí konstrukce, která je zvláště vhodná pro těžbu v hloubkách mezi 300 a 1500 metrů. Použití těchto plošin bylo navrženo pro větrné turbíny. Plošina je trvale ukotvena pomocí řetězů nebo lan upevněných v každém rohu plošiny. Výhodou konstrukce řetězů je, že mají relativně vysokou axiální tuhost (nízkou elasticitu), takže prakticky všechny vertikální pohyby plošiny jsou eliminovány.

### **1.1.6 Sub sea system - Podmořský systém**

Podmořské výrobní systémy jsou vrty umístěné na mořském dně mělké či hluboké vody. Obecně se nazývají jako plovoucí výrobní systémy, kde je ropa těžena přímo na mořském dně, a následně transportována potrubím do již existující výrobní plošiny nebo pobřežního zařízení. Vývoj podmořských ropných a plynových polí vyžaduje specializované vybavení. Zařízení musí být dostatečně spolehlivé kvůli ochraně životního prostředí. Nasazení takového zařízení vyžaduje specializované a drahé lodě, které musí být vybaveny potápěčskou výzbrojí pro relativně mělké práce a robotické zařízení pro hlubinné práce. Jakýkoliv požadavek na opravu nebo zásah do podmořského zařízení jsou tedy obvykle velmi drahé. Tento typ nákladů může vést k selhání ekonomického vývoje podmořské těžby.

### **1.1.7 SPAR platform - Nosníková plošina**

Nosníková plošina je druh plovoucí ropné plošiny běžně používané ve velmi hlubokých vodách. Jejím základem je vertikální noha používaná jako bóje. Nosníkové těžební plošiny byly vyvinuty jako alternativa k běžným plošinám. Nosníková konstrukce pro hluboký ponor dělá konstrukci méně ovlivněnou větrem, vlnami a mořskými proudy. Nosníkové plošiny jsou nejrozšířenější v USA a Mexickém zálivu. [15]



## **2 Metody svařování pro vybrané typy svarových spojů použitých na konstrukcích**

Pro danou konstrukci z hlediska základního materiálu, její velikosti a složitosti je nejvhodnější metodou svařování MAG (svařování tavící se kovovou elektrodou v aktivní ochranné atmosféře).

### **2.1 Metoda svařování MAG a MIG**

Svařování MAG patří k nejrozšířenějším metodám pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí s aktivní ochrannou atmosférou, ale i vysokolegovaných korozivzdorných ocelí. Svařování MIG se používá především pro svařování konstrukcí z hliníkových slitin, slitin mědi, niklu, aj. Hlavní výhodou těchto metod je především vysoká produktivita, velký rozsah svařovacího proudu, široký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů, snadná možnost mechanizace a robotizace a velký sortiment vyráběných svařovacích zařízení (zdrojů).

Svařování MIG/MAG je podstatně produktivnější než MMA – svařování ručně obalenou elektrodou, kvůli ztrátě produktivity při výměně elektrody. Další výhodou oproti MMA je eliminace materiálních ztrát spojených právě s výměnou elektrod.

Z každého kilogramu prodané obalené elektrody se asi jen 65 % stane součástí svaru (zbytek se vyhodí). U svařování MIG/MAG se používáním svařovacího plného či trubičkového drátu účinnost zvýšila na 80-95 %.

Svařovací zdroje jsou díky pokroku v technice neustále zdokonalovány a v některých oblastech bylo dosaženo zcela nových standardů. Podnětem inovačních kroků jsou na jedné straně nové materiály a aplikace, na druhé straně čím dál vyšší využívání vyzrálé mikroelektroniky a digitální techniky. [19]

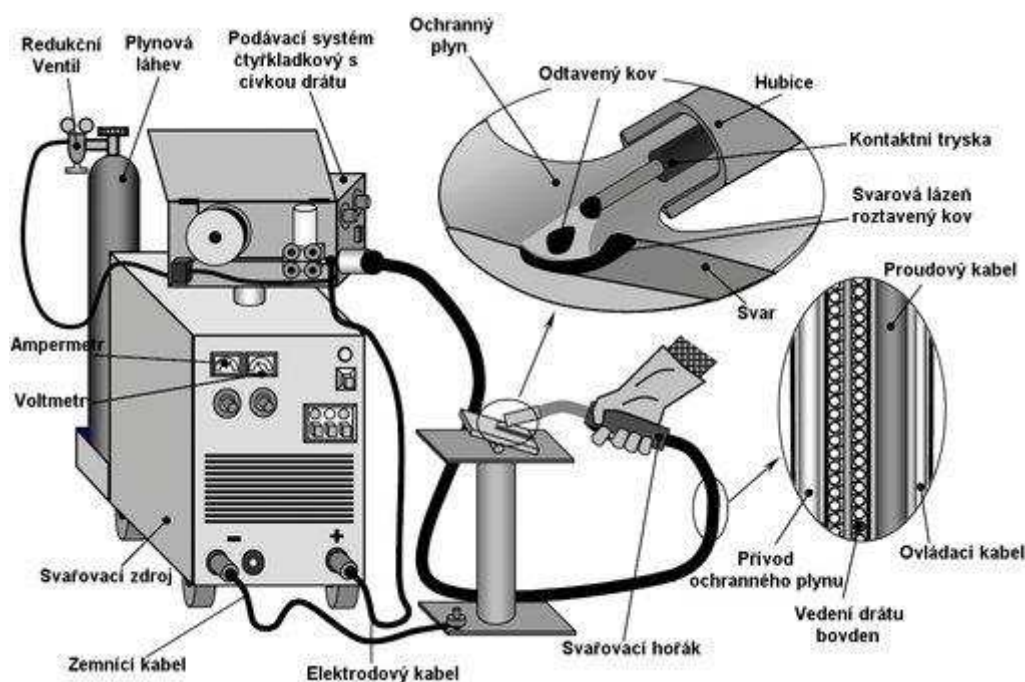
#### **2.1.1 Princip metody**

Při svařování MIG/MAG plní odtavující se elektroda současně funkci přídavného materiálu i nositele oblouku. „Nekonečný“ svařovací drát se přes dvě nebo čtyři posuvové kladky zavádí do svařovacího hořáku, kde v tak zvané kontaktní trubici dochází k přestupu proudu. Volný konec drátu je soustředně obklopený plynovou hubicí. Vytékající ochranný plyn brání chemickým reakcím žhavého povrchu obrobku s okolním vzduchem, čímž se zachovává pevnost a houževnatost svarového kovu. Ve

funkci ochranného plynu se používají jak inertní tak i aktivní plyny. Proto mluvíme o svařování Metal-Inert-Gas (= kov-inertní-plyn, MIG), Metal-Aktiv-Gas (= kov-aktivní-plyn, MAG).

Zodpovědnost za podobu svaru a za přechod materiálu má kromě chování oblouku a odtavného výkonu také ochranný plyn. Jako inertní plyny figurují především vzácné plyny argon a hélium a rovněž jejich směsi. Pojem „inertní“ pochází z řečtiny a znamená „neochotně reagující“. Inertní plyny se hodí pro všechny kovy mimo ocele, zejména pro hliník a měď. Aktivními plyny jsou převážně směsi plynů vytvořené na základě argonu, avšak obsahující navíc ještě podíly kyslíku nebo kysličníku uhličitého. Tyto plyny poměrně snadno reagují. Aktivní plyny jsou vhodné pro nerezavějící, vysokolegované druhy ocelí a rovněž pro nízkolegované nebo nelegované ocele. S určitými omezeními je pro nelegované nebo nízkolegované ocele vhodný jako aktivní plyn i samotný kysličník uhličitý.

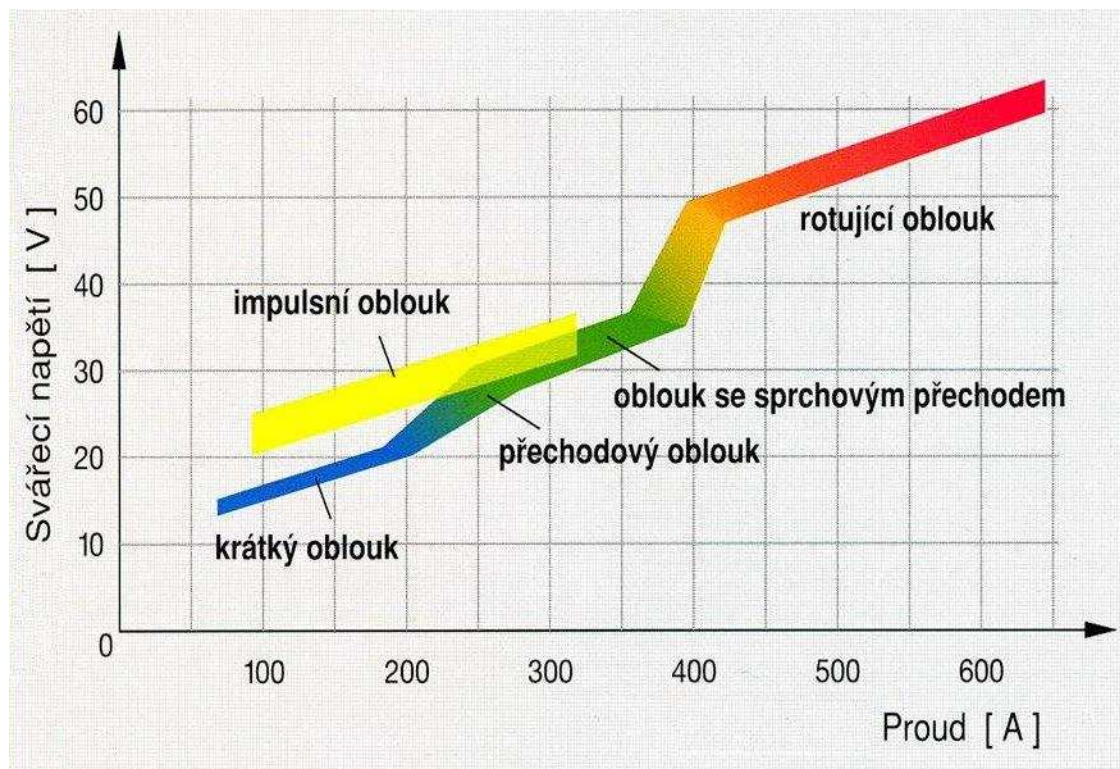
Alternativu k ochranným plynům představuje použití trubičkových (plněných) drátů s náplní, která se v elektrickém oblouku odpařuje a tímto způsobem rovněž vytváří ochrannou atmosféru. Trubičkové dráty zaručí spolehlivou plynovou ochranu i při průvanu. [20]



**Obr. 2 Svařovací zdroj MAG (MIG) [18]**

### 2.1.2 Přenos kovu

Přenosem kovu rozumíme proces roztavení přídavného materiálu, v našem případě svařovacího drátu, a jeho vložení do svarové lázně při hoření elektrického oblouku. Parametry svařování ovlivní charakter přenosu kovu, tj. svařovací proud, svařovací napětí, složení ochranné atmosféry a přídavný materiál.



*Obr. 3 Charakter přenosu kovu do svarové lázně [18]*

#### Krátký oblouk se zkratovým přenosem

Při zkratovém přenosu se z elektrody odtaví kapka kovu, která spojí elektrodu se svarovou lázní, dojde k elektrickému zkratu a oblouk zhasne. Tím dojde k náhlému zvýšení teploty, kapka se utaví a dopadne do svarové lázně. Oddělením kapky se elektrický oblouk opět zapálí. Frekvence zkratů se pohybuje od 20 do 200 Hz. Jak je z předchozího obrázku zřejmé, tento způsob přenosu kovu nastává při nízkých parametrech: svařovací proud v intervalu od 60 do 180 A, svařovacího napětí od 14 do 22 V, průměru elektrody od 0,6 do 1,2 mm a v libovolné ochranné atmosféře. Frekvence kapek odtavených z elektrody klesá s vyšším svařovacím napětím, zvětšuje se jejich velikost i rozstřík. Díky nízkým parametrům se do svaru vnáší relativně málo

tepla, svarový kov není tak tekutý a rychle tuhne. Toho se s výhodou využívá pro svařování ve vynucených polohách (např. nad hlavou).

### **Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem**

Modifikací zkratového přenosu je zvýšení svařovacího proudu nad 200 A a tomu odpovídající vyšší rychlosti podávání svařovacího drátu při stejném svařovacím napětí. Vyšší frekvence nedovoluje vytvořit větší kapku, ale konec elektrody je odporovým teplem při vysokém svařovacím proudu přehřátý a elektromagnetickými silami dochází k uvolnění kapek roztaveného kovu a jejich přenosu do svarové lázně. Průtok směsného ochranného plynu  $\text{Ar} + 8\% \text{CO}_2$  musí být vyšší, 20 až 30 l/min. Tato technika zrychleného zkratového přenosu se hodí pro svařování tenkých plechů vysokou rychlostí a velkým výkonem svařování.

### **Přechodový oblouk s kapkovým přenosem**

Pro vznik kapkového přenosu jsou nutné vysoké hodnoty svařovacího proudu od 190 do 300 A při napětí od 22 do 28 V, které nataví konec elektrody do velké kapky. Ta může být větší než průměr elektrody. Kapkový přenos je dobře použitelný v ochranné atmosféře  $\text{CO}_2$ , ve směsných plynech s argonem výrazně hůře. Hojně se využíval během 60. až 70. let minulého století pro vysoký výkon odtavení. V současné době se od něj již ustoupilo, především pro velký rozstřík a tvorbu hrubých svarových housenek.

### **Dlouhý oblouk se sprchovým přenosem**

Sprchový přenos nastává při hodnotách svařovacího proudu od 200 do 500 A a svařovacím napětí od 28 do 40 V, v ochranných plynech argonu s maximálně 20 %  $\text{CO}_2$  nebo argonu s 1 až 5 %  $\text{O}_2$ . Směs argonu a  $\text{CO}_2$  tvoří širší závar oproti směsi argonu s  $\text{O}_2$ , který má schopnost hlubšího závaru. Argon podporuje ionizaci plynu a tvorbu plazmy. Protože plazma rychle proudí okolo tavicího se konce elektrody, konec elektrody se tak rychleji ohřívá. K tomu přispívá i odporové teplo způsobené dlouhým výletem elektrody, cca 15 průměrů elektrody. Při vysokém proudu se nestačí vytvořit větší kapky, ale působením elektromagnetických sil se tvoří drobné kapky s vysokou frekvencí 150 až 350 Hz, jakoby sprcha. Velkou výhodou je nízký rozstřík. Přenos je velmi výkonný a používá se především při svařování v poloze PA nebo PB.

## **Impulsní sprchový přenos**

Pro omezení rozstříku a vad ve svařech u zkratového a kapkového přenosu byl vyvinut impulsní sprchový přenos. Průběh svařovacího proudu a napětí v závislosti na čase je řízen mikroprocesorem svařovacího zdroje. Základní svařovací proud je udržován na takové velikosti, aby probíhala ionizace plynu a tím i vedení elektrického proudu. V řízených intervalech se zvyšuje svařovací proud a napětí, tzv. pulsy. Těmito pulsy se kontrolovaně přenášejí kapky roztaveného kovu do svarové lázně. Kromě vysoké frekvence 25 - 500 Hz (výjimečně 1 kHz) řídí mikroprocesor i tvar průběhu svařovacího proudu a napětí v závislosti na čase. Ochranné plyny, resp. jejich složení, se používají za obdobných podmínek jako u sprchového přenosu. Tento typ přenosu kovu je velmi výhodný, protože umožňuje vysoký výkon odtavení jako např. při sprchovém přenosu, ale zároveň při nižším vneseném teple.

## **Moderovaný sprchový přenos**

Moderovaný sprchový přenos lze dosáhnout vysokými svařovacími proudy 450 až 750 A a svařovacím napětím 40 až 50 V za použití ochranného plynu Ar + 8 % CO<sub>2</sub> s průtokem až 25 l/min. Velké kapky, až o velikosti dosahující průměru drátu, jsou za vysoké frekvence přenášeny rychle proudícím plazmatem do svarové lázně. Touto technikou lze dosáhnout hlubokého průvaru a svařování větších tloušťek jednovrstvým svarem při vysoké rychlosti postupu svařování.

## **Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu**

Hodnoty svařovacího proudu u rotujícího oblouku jsou stejné jako u moderovaného sprchového přenosu, ale hodnoty napětí jsou vyšší – až 65 V. Také je větší výlet drátu – nad 20 mm. Drát je průchodem vysokého proudu odporově zahříván téměř až na teplotu tavení. Intenzivní magnetické pole roztáčí tavící se konec elektrody, který je ve vysoce plastickém stavu. Kapky odtavujícího se kovu při rotačním přenosu tvoří jakoby kuželovou plochu. Rotujícím obloukem lze dosáhnout hlubokého a širokého závaru. [5]

### **2.1.3 Metalurgické reakce při svařování v aktivních ochranných plynech**

Metalurgickými reakcemi rozumíme oxidační a desoxidační děje, které probíhají v kapkách tavící se elektrody a roztaveném svarovém kovu. Zásadním způsobem tyto reakce ovlivňují povrch (kresbu) svarové housenky, hloubku závaru, čistotu svaru a přechod mezi svarovým kovem a základním materiálem. Zásadní vliv na rozsah reakcí má množství disociovaného kyslíku ve svarové lázni. Kyslík se do svarové lázně může dostat několika způsoby, z nichž nejběžnějšími zdroji jsou ochranný plyn a okolní atmosféra.

Oxidační reakce jsou silně exotermické a jejich rozsah je přímo ovlivněn množstvím kyslíku v ochranném plynu. Množství uvolněného tepla má vliv na tvar a hloubku závaru – s ochranným plynem  $\text{CO}_2$  je svarová lázeň hlubší a oválnější než u čistého Ar nebo směsi  $\text{Ar}+\text{CO}_2$ .

Desoxidačními prvky jsou Mn a Si, kterými je svarový kov přelegován v takovém poměru, aby vzniklá struska snadno vyplavala na povrch svarové lázně. Na povrchu pak tvoří malé ostrůvky strusky.

### **2.1.4 Ochranné plyny**

Hlavním úkolem ochranných plynů je zamezení přístupu okolní atmosféry do oblasti svařování. Oblastí svařování myslíme elektrodu, el. oblouk, svarovou (tavnou) lázeň, její okolí včetně kořene svaru.

Ochranný plyn dále ovlivňuje tyto charakteristiky svařování:

- vytvoření ionizovaného prostředí pro dobrý start a hoření oblouku,
- metalurgické děje v době mezi tvorbou kapky až do chladnutí ve svarové lázni,
- elektromagnetické síly v oblouku,
- tvar oblouku,
- charakter přenosu kovu,
- tvar průřezu svaru,
- kresba svaru,
- mechanické vlastnosti svarového spoje.

### **Chemické účinky ochranných plynů**

Ochranné plyny se dělí podle chemického účinku na svarový kov na inertní a aktivní.

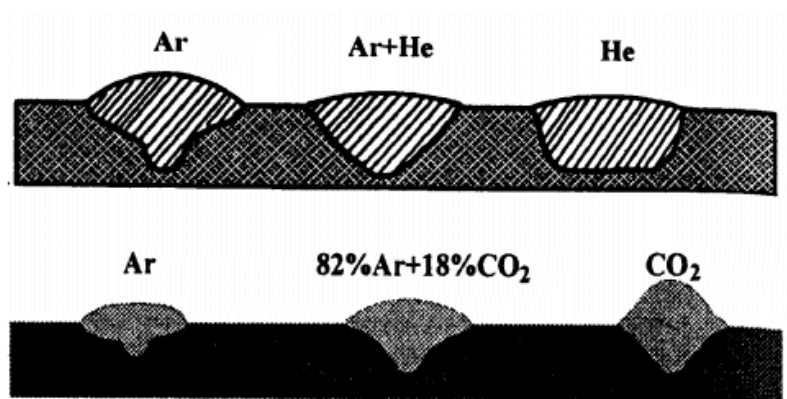


**Inertní** plyny používané při svařování jsou Argon, Helium a jejich směsi. Tyto plyny chemicky nereagují se svarovou lázní, a tudíž je minimální propal prvků ve svarovém kovu. Inertní plyny se používají pro svařování slitin hliníku, mědi, niklu, aj.

**Aktivní** plyny ovlivňují chemické složení svarového kovu. Tyto plyny se rozdělují podle indexu oxidačního účinku a vlivu nauhličení. Pro metodu svařování MAG je nejčastěji používaná dvousložková směs plynů  $\text{Ar} + 20 \% \text{CO}_2$ , která má oxidační účinek. Nejvyšší oxidační účinek má čistý  $\text{CO}_2$ .

Oxidační reakce má vliv na stabilní hoření oblouku, čistotu svarového kovu a spolehlivý průvar. Oproti tomu inertní plyn zajistí dobrou ionizaci plynu pro snadné zapálení oblouku. Proto jsou tyto plyny využívány ve směsích, kde oblouk hoří s vysokou stabilitou a pravidelností.

Ochranné plyny mají různou tepelnou vodivost, která výrazným způsobem ovlivňuje přenos tepla do svaru. [5]



*Obr. 4 Rozdíly v závaru při použití plynů s různou tepelnou vodivostí [21]*

## 2.1.5 Parametry a podmínky svařování

### Svařovací napětí

Svařovací napětí se mění podle délky oblouku. Napětí výrazně ovlivňuje šířku svarové housenky, hloubku ovlivňuje minimálně. Vysoké napětí má za následek propal prvků ve svarovém kovu, může nepříznivě ovlivnit rozstřík a pórovitost. Naopak nízké napětí má za následek nestabilní proces, úzké housenky s velkým převýšením, hrozí studené spoje.

## Svařovací proud

Svařovací proud má zásadní vliv na charakter přenosu kovu a tvar průřezu svarové housenky.

S nárůstem svařovacího proudu se zvyšuje:

- výrazný růst hloubky závaru,
- proudová hustota,
- tekutost svarové lázně,
- odtavovací výkon,
- frekvence kapek.

## Proudová hustota

Proudová hustota je vyjádřením proudového zatížení svařovacího drátu v závislosti na jeho průřez. Jednotkou proudové hustoty je  $A/mm^2$ . S růstem proudové hustoty roste výkon odtavení drátu. U metod svařování MIG/MAG se proudová hustota pohybuje v rozmezí hodnot 80 až  $350 A/mm^2$ . Plněné dráty dosahují až třikrát větší proudové hustoty než u plného drátu stejného průměru.

## Druh a polarita svařovacího proudu

U metod svařování MIG/MAG se nejčastěji používá stejnosměrný proud a nepřímá polarita, tj. elektroda zapojená na kladném pólu zdroje. Při přímé polaritě se zmenšuje hloubka závaru i šířka housenky a roste převýšení. Toho se využívá při navařování s požadavkem malého promísení svarového kovu se základním materiálem.

## Volná délka drátu – výlet drátu

Volná délka drátu je vzdálenost od kontaktní špičky (proudového průvlastu) po oblouk. Všeobecně se tato délka rovná desetinásobku průměru elektrody. Ve skutečnosti volnou délku drátu ovlivňuje typ přenosu kovu a ochranný plyn.

Pro přesnější hodnotu lze použít následující vztahy:

$$L = 5 + 5 \cdot d \text{ pro } CO_2$$

L...volná délka drátu

$$L = 7 + 5 \cdot d \text{ pro směsné plyny.}$$

d...průměr drátu v mm

Se zvyšující se volnou délkou drátu roste napětí a klesá svařovací proud, čímž je způsoben menší průvar. Snížení proudu je způsobeno ohřevem drátu, který spotřebuje

cca 10 až 20 A na 1 mm změny délky výletu drátu. Naopak při malém výletu drátu může dojít k přehřátí tavné lázně způsobené vyšší intenzitou proudu na oblouku. [5]

**Tab. 1** Orientační hodnoty parametrů svařování pro metodu MAG na ocel [5]

Typ svaru	Tloušťka plechu	Průměr elektrody	Výkon navaření	Rychlost posuvu drátu	Svařovací proud	Rychlost svařování
Jednotka	mm	mm	Kg.h <sup>-1</sup>	m.min <sup>-1</sup>	A	cm.min <sup>-1</sup>
<b>I svar</b>	1	0,6	1,0	7,0	60	83
	1,5	0,8	1,2	6,0	90	80
	2	0,8	1,5	6,8	110	83
	3	0,8	1,8	8,0	125	55
	3	1,0	2,1	6,0	150	63
<b>V svar</b>	4	1,0	2,2	6,4	160	40
	5	1,0	2,2	6,4	160	28
	6	1,0/1,0	2,1/2,9	6,8/8,5	150/200	60/43
	8	1,0/1,2	2,1/3,9	6,0/7,6	150/260	43/28
	10	1,0/1,2	2,1/5,1	6,0/10,0	150/320	35/21
<b>Koutový svar</b>	2	0,6	1,2	8,4	70	40
	2	0,8	1,6	6,8	110	53
	3	0,8	1,9	8,3	130	32
	3	1,0	2,4	7,0	170	40
	4	1,0	2,7	8,2	190	28
	5	1,2	3,9	7,8	260	26
	6	1,2	3,9	7,8	260	20
	6	1,2	4,8	9,5	300	22
	8	1,2	4,8	9,5	300	14

## 2.2 Přídavný materiál

Pro metodu svařování MIG/MAG existuje široká škála přídavných materiálů. Používány jsou přídavné materiály ve formě plného nebo plněného drátu. Ty jsou navinuty na cívkách, jejichž hmotnost je standardně 15 kg. Cívky je však možno pořídit v hmotnosti od 5 až do 450 kg. Každá cívka svařovacího materiálu musí být opatřena štítkem s následujícími údaji:

- označení výrobce,
- označení drátu,
- průměr drátu,
- hmotnost,
- číslo tavby,
- klasifikace a certifikace u jiných orgánů.

Skládování drátu musí být zajištěno v podmínkách, které vylučují oxidaci nebo znečištění přídavného materiálu. Doporučena je teplota nad 10°C a relativní vlhkost do 50 %. V současnosti jsou však cívky chráněny proti okolním vlivům polyetylenovou fólií.

Pro svaření námi řešených konstrukcí byl použit plněný drát, proto se dále budu věnovat tomuto typu přídavného materiálu. [5]

### 2.2.1 Plněné dráty

Základní myšlenkou vývoje a zavedení plněných drátů byla snaha o zvýšení produktivity. Jako první byly na trh uvedeny elektrody plněné rutilovou náplní, později elektrody plněné bazickou náplní. Následovaly dráty plněné kovovým práškem, které měly vyhovět požadavkům robotizovaného svařování, tzn. spolehlivého zapalování a stabilizace svařovacího oblouku. Dnes jsou nabízeny plněné elektrody v širokém sortimentu s různými svařovacími vlastnostmi.

Plněné svařovací dráty se dělí na:

- bezešvé plněné dráty,
- tvarově uzavřené plněné dráty (falcované).

### **Bezešvé plněné dráty**

Jsou vyráběny z kovového pásu, který je stočen do tubičky o průměru 15 mm, a pak vysokofrekvenčně svařen. Následuje žíhání na odstranění deformačního zpevnění a napětí po svařování. Trubička je pak vibračně naplněna danou náplní. Dalším krokem je tažení trubičky na průměr pro žíhání naměkko, a to kvůli snížení obsahu vodíku. Následuje několikastupňové tažení na požadovaný průměr, čištění a leštění. Nakonec se trubička moří a pomědí, čímž je zaručena korozivzdornost a dobrý přenos svařovacího proudu.

### **Tvarově uzavřené plněné dráty**

Jsou vyráběny z kovového pásu, který se zakružuje do kruhového průřezu. Před uzavřením trubičky se naplní požadovaným plnivem. Po naplnění je trubička uzavřena a kalibrována na požadovaný průměr. Tyto trubičky se nepoměďují a jsou vyráběny od průměru 1,2 mm. Při větším tlaku na trubičku, např. v podávacích kladkách, může dojít k jejímu otevření. [5]

## **2.3 Základní materiál a požadavky na něho kladené**

Jedním se základních parametrů pro dosažení požadované životnosti a bezpečnosti konstrukce je kvalita a správná volba základního materiálu. U offshore konstrukcí, které jsou po celou dobu životnosti vystaveny mimo namáhání také nepříznivým přímořským podmínkám, je volba vhodného základního materiálu o to důležitější. V těchto podmínkách musí být minimalizováno nebezpečí poruch s možnými dopady na bezpečnost a provozní náklady.

Požadavky pro svařitelné konstrukční oceli používané pro výrobu offshore konstrukcí jsou stanoveny normou ČSN EN 10225. Jedná se o plechy do tloušťky 150 mm a profily se silou stěny do 63 mm. Výjimkou jsou profily dodávané ve stavu po válcování, které jsou dovoleny do tloušťky 25 mm. Jsou specifikovány bezešvé duté profily do tloušťky 40 mm a vysokofrekvenčně odporově svařované duté profily do tloušťky 20 mm. Maximální tloušťka je vždy včetně definované hodnoty.

Normu ČSN EN 10225 však nelze aplikovat pro ocel k výrobě podmorských potrubí, stoupacích potrubí, výrobního zařízení, potrubního systému a jiného vybavení. [9]

## Požadavky

Kromě požadavků normy ČSN EN 10225 platí také všeobecné dodací technické požadavky předepsané v EN 10021.

### 2.3.1 Hodnota uhlíkového ekvivalentu (CEV) a $P_{cm}$

Uhlíkovým ekvivalentem vyjadřujeme vliv chemického složení oceli na její svařitelnost. Jednotlivé legující prvky se různou měrou podílí na kalitelnosti oceli. Čím víc je daná ocel náchylná k zakalení, tím obtížněji se svařuje a zvyšuje se nebezpečí vzniku nepříznivých křehkých zakalených struktur (martenzit, spodní bainit) ve svarovém kovu i v TOO svarového spoje. Dominantní úlohu, jak již napovídá název, má uhlík.

Pro specifické skupiny ocelí se používá mnoho vztahů. Pro náš případ použijeme následující vzorce:

- **Oceli s  $C < 0,25$  %** (hodnoty jsou uvedeny v hmotnostních procentech)

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} [\%] \quad (1)$$

- **Oceli s  $C < 0,16$  % (autoři Ito a Bessyo)**

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B [\%] \quad (2)$$

Norma ČSN EN ISO 10225 pak stanovuje maximální dovolené hodnoty CE a  $P_{CM}$  pro plechy i profily. [9]

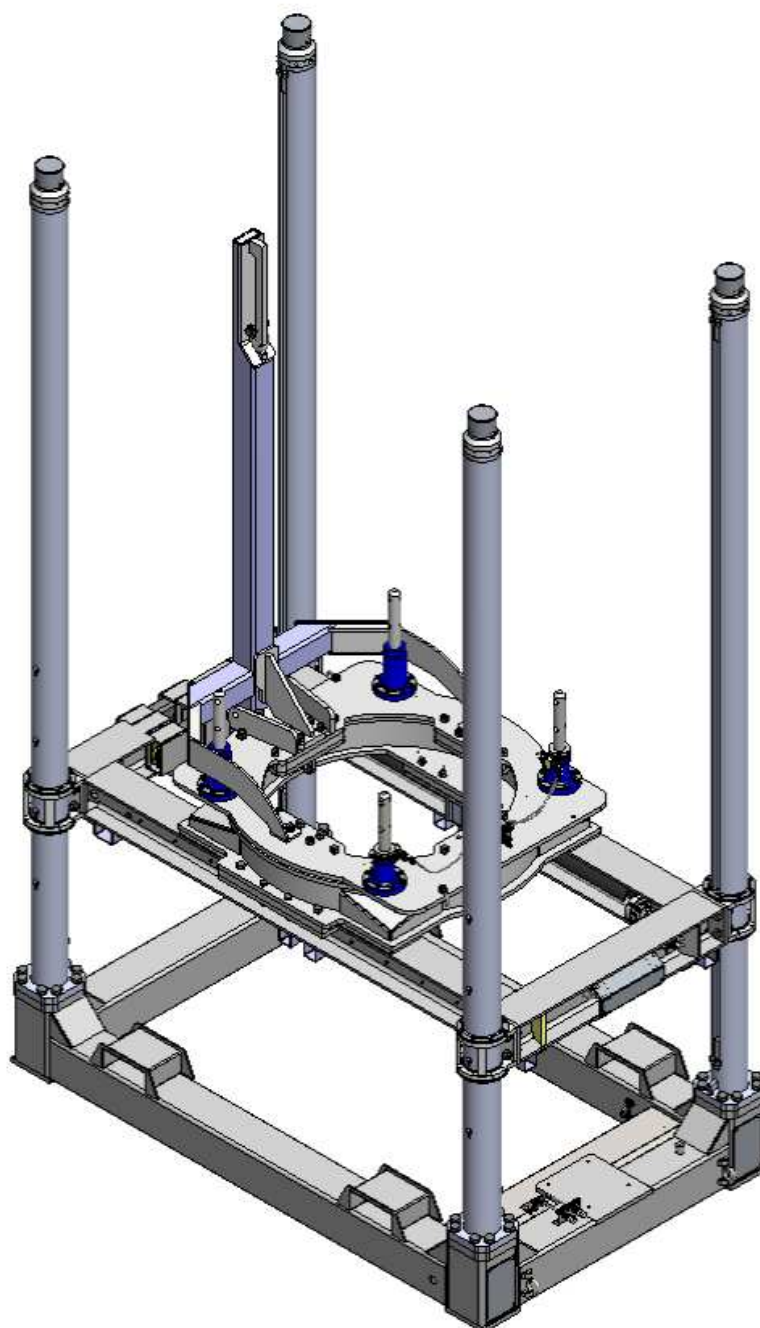
Dalšími normou stanovenými požadavky jsou:

- chemické složení,
- mechanické vlastnosti,
- technologické vlastnosti,
- jakost povrchu a vnitřní vady.



## 2.4 Reprezentační typy svarových spojů pro danou konstrukci

V této kapitole jsou popsány reprezentativní typy svarových spojů, které byly stěžejní pro samotnou kvalifikaci.

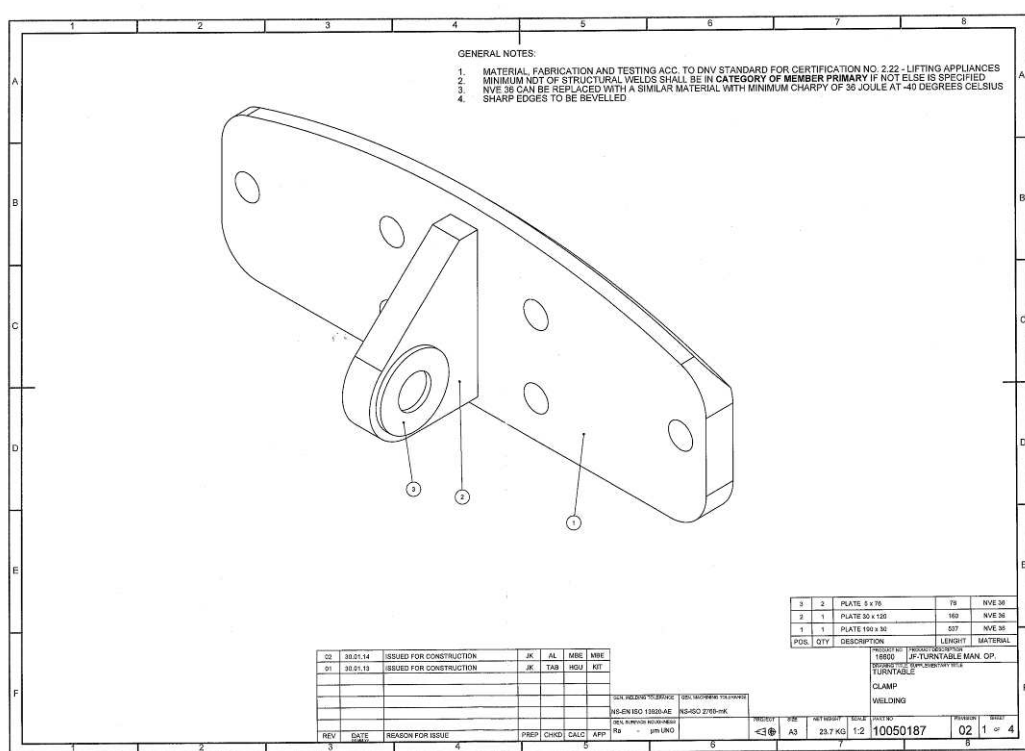


*Obr. 5 Vyzvedávací rám*



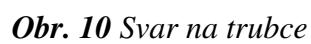
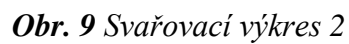
Z tohoto dílce budeme kvalifikovat vícevrstvé koutové svary. Všechny vzorky koutových svarů budou zhotoveny jako obvodové na dvou kulatinách o průměrech 180 mm a 70 mm a tloušťce 30 mm.

## 2.4.2 K-svar, jednovrstvý koutový svar



Obr. 8 Sestava 2

Kvalifikace pro jednovrstvý koutový svar budou celkem tři, a to samostatně pro a3, a4, a5. Dle požadavku normy ČSN EN ISO 15614-1, kdy pro jednovrstvý koutový svar na plechu tl.  $\geq 30\text{mm}$  musí být každá velikost koutového svaru zkoušena samostatně zkouškou postupu svařování.



## 2.5 Přídavný materiál pro vybrané typy svarových spojů

Pro dané konstrukční celky byla z důvodu produktivity a dosažení požadovaných mechanických hodnot použita metoda svařování 138 (obloukové svařování plněnou elektrodou s kovovým práškem v aktivním plynu) a přídavný materiál Megafil 710 M, který netvoří strusku a je použitelný ve vynucených polohách. Další výhodou tohoto přídavného materiálu je možnost svařovat ve velkém proudovém rozsahu.

**Tab. 2** Specifikace přídavného materiálu Megafil 710 M

Normy: EN 758 : T 46 4 MM 1 HS AWS/ASME – SFA-5.20 : E 71 T-1 AWS/ASME – SFA-5.18 : E 70 C – 6M					
Materiály:	DIN	EN		ASTM	
Lodní průmysl	A, B, D, AH 32 až EH 36			A 131	
Konstrukční nelegované oceli	St 33, St 37-2 až St 52-3	S 185, S235 – S355		A 106/ A 515/ A 714	
Tlakové nádoby	HI, HII, 17Mn4, 19 Mn 5	P 235 GH, P 265 GH, P 295 GH		A 283 / A 285 / A414 / A 662 / A 372	
Ocel na potrubí	St35.8, St 45.8 StE 210.7 TM – St M E 480.7 TM	P 235 T1/T2 – P 355 N L210-L485		A 369 / A 210 / A 106	
Jemnozrnné oceli	StE 255 až StE 460	S255 – S460		A 516 / A 255/ A 333/ A 350 / A 612	
Ocel dle API-norem	X42 až X70				
Chemické složení svarového kovu % (pro směsný plyn typu M21)					
C	Mn	Si	P	S	
0,05	1,3	0,7	<0,015	<0,015	
Mechanické vlastnosti svarového kovu (typické hodnoty pro plyn M21)					
Vrubová houževnatost ISO - V					
Tepelné zpracování	Rp <sub>0,2</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	A <sub>S</sub> [%]	Nárazová energie [J]	
				-20°C	-40°C
u a s	> 470	550 – 650	> 27	> 100	> 60
u: po svaření s: žihání na odstranění prutí					
Průměry: Ø 1,0 – 2,4 mm			<div><div>Polarita</div><div><div>= +</div></div></div> <div><div>Pro polohy</div><div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div></div></div>		

## 2.6 Příprava svarových hran

Pro zajištění kvalitního svarového spoje je nutné dbát na správnou přípravu svarových hran. Touto přípravou rozumíme tvar svarových hran a jejich vzájemné sestavení. Tyto parametry se liší podle použité metody svařování, základního materiálu a typu svarového spoje. Mimo vizuální kontrolu hran může být požadavek i na penetrační zkoušku svarových hran.

Typy přípravy svarových spojů pro vybrané metody svařování popisuje norma ČSN EN ISO 9692-1 Svařování a příbuzné procesy – Doporučení pro přípravu svarových spojů. [10]

**Tab. 3** Typy svarových hran na zkušebních vzorcích pro WPQR [10]

Tloušťka materiálu $t$ [mm]	Název svaru	Značka svaru	Řez	Rozměry				Zobrazení svaru
				Úhel $\alpha, \beta$	Mezera $b$ [mm]	Otupení $c$ [mm]	Výška úkosu $h$ [mm]	
$t_1 > 2$ $t_2 > 2$	Jednostranný koutový svar			$70^\circ \leq \alpha \leq 100^\circ$	$\leq 2$	-	-	
$3 < t \leq 10$	$\frac{1}{2}$ V-svar			$35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$2 \leq b \leq 4$	$1 \leq c \leq 2$	-	
$> 10$	Oboustranný $\frac{1}{2}$ v svar			$35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	$\leq 2$	$t/2$ nebo $t/3$	



### **3 Realizace WPQR dle ČSN EN ISO 15614-1 s přihlédnutím na požadavky normy Norsok M101**

#### **3.1 Požadavky normy Norsok M101 nad rámec ČSN EN 15614-1**

Norma NORSOK M 101 doplňuje požadavky normy ČSN EN ISO 15614-1 pro kvalifikaci postupu svařování.

- a) Pro kvalifikaci maximálního rozsahu vneseného tepla musí být svařovací vzorky zhotoveny v polohách s nejnižším a nejvyšším tepelným příkonem. Na obou vzorcích pak musí být provedeno mechanické zkoušení. V takovém případě jsou kvalifikovány všechny hodnoty tepelného příkonu v mezích od nejnižší do nejvyšší hodnoty při kvalifikaci.
- b) Pokud má svařovaná ocel  $P_{CM} > 0,21$  nebo obsah uhlíku  $C > 0,13 \%$ , potom nárůst o více než  $0,02 P_{CM}$ , nebo  $0,03$  CEV vyžaduje novou kvalifikaci.
- c) Není možno použít materiál s odlišným způsobem výroby než při kvalifikaci (např. z tvářené nebo kované oceli na litou ocel).
- d) Nejsou povoleny odlišnosti v konečném zpracování oceli (normalizovaná, termomechanicky zpracovaná, zakalená a popuštěná ocel, atd.).
- e) Nejsou povoleny změny mikrolegujících prvků.
- f) Zmenšení úkosu max. o  $10^\circ$  oproti WPQR, pro úkosy (drážky) menší než  $30^\circ$  je tolerance  $+20^\circ / -0^\circ$ .
- g) Kvalifikace koutových svarů provedených na plechu tloušťky  $\geq 30\text{mm}$  se vztahuje na všechny tloušťky plechu. Jednovrstvé svařování kvalifikuje vícevrstvé, nikoli opačně.
- h) Manuální metody svařování 135 a 136 platí i pro částečně mechanizované a mechanizované svařování, nikoli však naopak.
- i) Pro svařence s tloušťkou plechu  $\geq 50\text{ mm}$  s  $R_e > 400\text{ MPa}$ , nebo při požadavku projektanta se provádí CTOD. CTOD testování se provádí na vzorcích po zavaření a po tepelném zpracování. Pro tento případ se musí být příprava svarové hrany ve tvaru K nebo  $\frac{1}{2}$  V. [7]

### 3.2 Výroba vzorků pro kvalifikaci WPQR

Tato problematika se řídí normami ČSN EN ISO 15614-1 a NORSOK M101. Zde jsou definovány podmínky pro provádění zkoušek postupu svařování a rozsah kvalifikace pro postupy svařování pro všechny praktické svářečské operace.

Výroba vzorků pro kvalifikaci WPQR je nejdůležitější částí samotné kvalifikace. Jde o simulaci podmínek, ve kterých bude reálně probíhat svařování daných konstrukcí. Zkušební kus musí reprezentovat svarový spoj, na který se bude postup svařování ve výrobě vztahovat.

Počet a velikost vzorků je dán počtem a rozsahem zkoušení tak, aby bylo možno provést všechny požadované zkoušky. Doporučuje se však připravit doplňující zkušební kusy pro případ opakovaného zkoušení.

S výjimkou koutových svarů, přípojí a odboček musí být pro svařované plechy a trubky tloušťka základního materiálu stejná jako na reálném kusu. V případě, že se bude na vzorcích provádět zkouška rázem v ohybu, musí být označen a při sestavení dodržen směr válcování plechu. [6]

Všechny parametry ovlivňující proces jsou během výroby vzorků řízeny a zaznamenány.

Vzorky jsou provedeny tak, aby rozsahově pokryly svary na dílcích uvedených v kap. 2.4. Vzorky s obvodovými 1/2 V svary budou zhotoveny 2x a to jednou v poloze PC a podruhé v poloze PH.

Vzorky pro K-svary na plechu tloušťky 50 mm budou zhotoveny 3, z nichž dva budou podrobeny destruktivnímu zkoušení bez tepelného zpracování a třetí po tepelném zpracování.

**Tab. 4** Přehled prováděných kvalifikací

Č. zkoušky/ č. vzorků	Základní materiál	Průměr – tloušťka mat.	Metoda svařování	Poloha svařování	Svarová hrana	Provaření	Počet kusů / rozměry
WPQR-01/2629	API5LX52	219,1x23	138	PC	½ V	ss nb	2 / 300mm
WPQR-02/2629	API5LX52	219,1x23	138	PH	½ V	ss nb	2 / 300mm
WPQR-03/2626	P355NL2	70 x 30 mm	138	PB	Δ	a = 3 sl	2
WPQR-04/2625	P355NL2	70 x 30 mm	138	PB	Δ	a = 4 sl	2
WPQR-05/2627	P355NL2	70 x 30 mm	138	PB	Δ	a = 5 sl	2
WPQR-06/2628	P355NL2	70 x 30 mm	138	PB	Δ	a = 8 ml	2
WPQR-07/2624	P355NL2	tl. 50 mm	138	PA	K	bs gg	3 x 750 mm

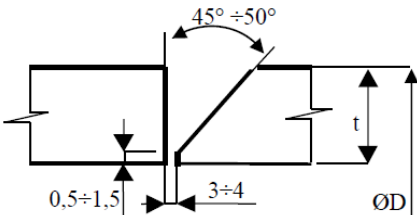
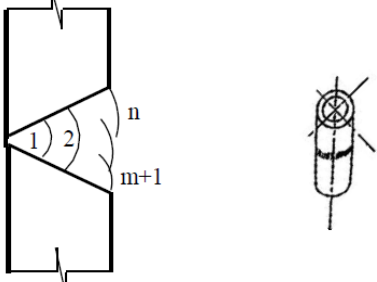
### 3.2.1 Předběžná specifikace postupu svařování pWPS

Předběžnou specifikaci postupu svařování (pWPS) pro metody obloukového svařování se zabývá norma ČSN EN ISO 15609-1. [14]

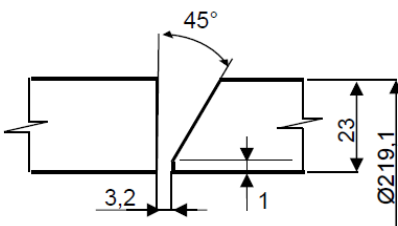
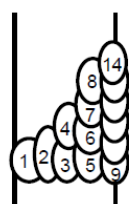
Tato specifikace musí obsahovat všechny údaje, které jsou nezbytné pro provedení svaru, a to:

- údaje o výrobci,
- údaje o základním materiálu (druh základního materiálu, rozměry),
- metodu svařování, návrh spoje, polohu svařování, přípravu spoje, způsob svařování, drážkování kořene, podložení,
- svařovací materiály,
- elektrické parametry,
- mechanické a automatické svařování,
- teplota předehřevu, interpass teplota, udržovací teplota předehřevu, dodatečný ohřev pro uvolnění vodíku,
- tepelné zpracování po svařování,
- ochranný plyn,
- tepelný příkon.

**Jednotlivé pWPS pro výrobu zkušebních vzorků, záznamy ze svařování****Tab. 5 pWPS\_01 – ½ V svar na trubce v poloze PC**

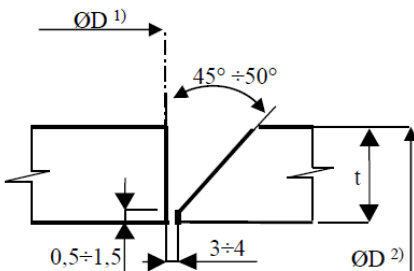
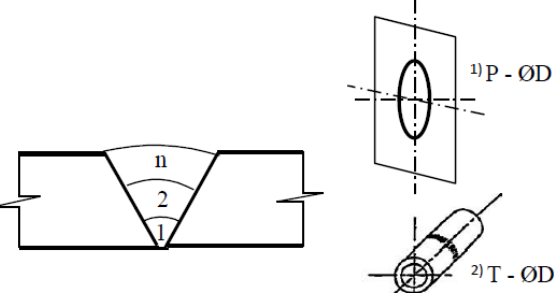
<b>Specifikace postupu svařování</b>					Číslo: <b>pWPS_01</b>			
<b>ČSN EN ISO 15609-1</b>					Revize: 0			
Místo:			Zkuš. orgán, zkuš. organizace:					
Výrobce:			Druh přípravy a čištění: opracováno nebo páleno, broušeno					
WPQR č.: (2629 - WPQR 01)			Tloušťka materiálu: t=11,5+46mm					
Metoda svařování: 138-částečné mech.			Vnější průměr: D≥109,6mm					
Druh svaru: BW - 1/2V			Poloha při svařování: PC					
			Specifikace zákl. mat.: S235JR EN10025-2 + P355NL2 EN10028-3					
Příprava svarových ploch (náčrt *)			ISO/TR15608: 1.1, 1.2 NVA + NVE36 DNV Metallic materials Pt.2Ch.2					
<b>Tvar spoje</b>			<b>Postup svařování</b>					
								
<b>Podrobnosti o svařování</b>								
Vrstva	Metoda podle EN4063	Průměr příd. materiálu (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu / Polarita	Rychlost podávání (m/min)	Rychlost svařování *) (cm/min)	Tepelný příkon *) (kJ/cm)
1	138	1,2	130 + 140	16,0 + 17,0	DC / +	3,0 + 3,5	11,6 + 16,6	6,0 + 9,9
2+m	138	1,2	260 + 280	25,0 + 26,0	DC / +	9,5 + 10,5	30,4 + 48,0	7,0 + 11,5
m+1+n	138	1,2	210 + 230	24,0 + 25,0	DC / +	6,5 + 7,5	34,9 + 50,4	4,8 + 7,9
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Přídavný materiál</b>			Stein MEGAFIL 710M **)		<b>Další informace*)</b>			
Klasifikace; výrobní značka:			EN ISO 17632 T46 4 MM 1 H5		Max. šířka hous.: 12mm			
Tavidlo:			-		Amplituda: -			
Zvláštní předpis pro sušení:			-		Frekvence: -			
Ochranný plyn:			EN ISO 14175 M21; 82%Ar + 18%CO2		Čas prodlevy: -			
Průtok plynu:			18 + 20 l/min		Pulsní svařování: -			
Ochrana kořene:			FP - ss nb		Výlet drátu: 18 + 20mm			
Průtok plynu:			-		Svař. plazmou: -			
Druh wolframové el.; průměr:			-		Nast. úhlu hořáku: -			
Podrobnosti k drážkování / ochrana svařovací lázně:			-					
Teplota předehřevu:			75°C					
Interpass teplota:			150°C		**) Certificate 3.1 EN 10204 ; KV -40°C			
Tepelné zprac. po svařování:			-		Druh přenosu: ISO 4063 - 138-D/G/S			
Čas; teplota; metoda:			-		Ceq max.: 0,44			
Rychlost ohřevu a ochlaz. *)			-					
<b>Výrobce</b>			<b>Zkušební orgán, zkuš. organizace</b>					
-----			-----					
Jméno; datum; podpis			Jméno; datum; podpis					
*) je-li požadováno								

**Tab. 6** Záznam ze svařování WR\_01

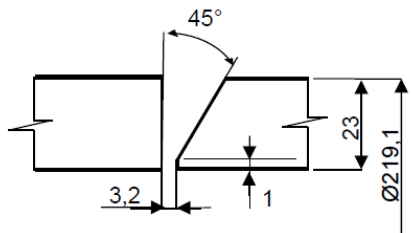
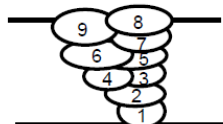
		<b>Záznam ze svařování</b>				Číslo: <b>WR_01 / pWPS_01</b>					
<b>Datum svařování:</b>				<b>Přídavný materiál:</b>		EN ISO 17632 T46 4 MM 1 H5					
<b>Jméno svařeče:</b>				<b>Obchodní značka:</b>		Stein MEGAFIL 710M					
<b>Základní materiál:</b>		API 5L X 52		<b>Č.tavby:</b>		123742					
<b>Č.tavby</b>		50510		<b>Plyn:</b>		M21 EN ISO 14175; 82%Ar+18%CO2					
<b>Rozměr desky:</b>		Ø219,1 X 23mm		<b>Průtok plynu:</b>		20 l/min					
<b>Předehnutí:</b>		-		<b>Poloha:</b>		PC					
<b>Kořen:</b>		ss nb		<b>Tep.zpracování:</b>		bez					
											
Hous.	Metoda svařování	Průměr příd. mat.	Napětí	Proud	Délka svaru	Čas svař.	Rychlost svařování	Tepelný příkon	Teplota před.	Prac. teplota	Poznámka
č.	EN 4063	mm	V	A	cm	s	cm/min	kJ/cm	°C	°C	-
<b>kus č.1</b>											
1	138	1,2	16,7	137	69	300	13,8	8,0	75		posuv 3,5m/min
2	138	1,2	25,7	258	69	173	23,9	13,3		90	posuv 10m/min
3	138	1,2	25,2	279	69	98	42,2	8,0		150	posuv 10m/min
4	138	1,2	25,2	264	69	157	26,4	12,1		150	posuv 10m/min
5	138	1,2	25,1	281	69	86	48,1	7,0		150	posuv 10m/min
6	138	1,2	25,1	270	69	79	52,4	6,2		150	posuv 10m/min
7	138	1,2	25,3	263	69	157	26,4	12,1		150	posuv 10m/min
8	138	1,2	24,2	262	69	77	53,8	5,7		150	posuv 8,5m/min
9	138	1,2	24,1	230	69	86	48,1	5,5		150	posuv 7,4m/min
10	138	1,2	24,2	229	69	83	49,9	5,3		150	posuv 7,4m/min
11	138	1,2	24,1	223	69	88	47,0	5,5		150	posuv 6,7m/min
12	138	1,2	24,3	211	69	118	35,1	7,0		150	posuv 6,7m/min
13	138	1,2	24,3	211	69	116	35,7	6,9		150	posuv 6,7m/min
14	138	1,2	24,0	219	69	130	31,8	7,9		150	posuv 6,7m/min


**Obr. 11** Příprava vzorku č. 2629 ke svařování

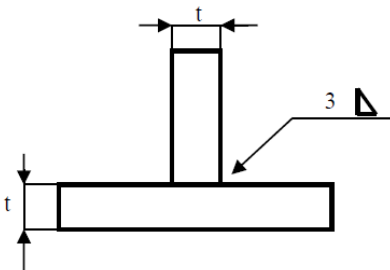
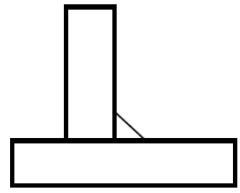
**Tab. 7** pWPS\_02 - 1/2 V svar na trubce v poloze PH

Specifikace postupu svařování ČSN EN ISO 15609-1		Číslo: <b>pWPS_02</b>																																																						
<div style="text-align: right;">Revize: 0</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Místo: _____</p> <p>Výrobce: _____</p> <p>WPQR č.: (2629 - WPQR 14-02)</p> <p>Metoda svařování: 138-částečně mech.</p> <p>Druh svaru: BW - 1/2V</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Zkuš. orgán, zkuš. organizace: _____</p> <p>Druh přípravy a čištění: opracováno nebo páleno, broušeno</p> <p>Tloušťka materiálu: t=11,5÷46mm</p> <p>Vnější průměr: D≥109,6mm</p> <p>Poloha při svařování: PH</p> <p>Specifikace zákl. mat.: S235JR EN10025-2 + P355NL2 EN10028-3</p> <p>ISO/TR15608: 1.1, 1.2</p> <p>NVA + NVE36 DNV Metallic materials Pt.2Ch.2</p> </div> </div>																																																								
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>Příprava svarových ploch (náčrt *)</b></p> <p style="text-align: center;"><u>Tvar spoje</u></p>  </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;"><u>Postup svařování</u></p>  </div> </div>																																																								
<p><b>Podrobnosti o svařování</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Vrstva</th> <th>Metoda podle EN4063</th> <th>Průměr příd. materiálu (mm)</th> <th>Proud (A)</th> <th>Napětí (V)</th> <th>Druh proudu / Polarita</th> <th>Rychlost podávání (m/min)</th> <th>Rychlost svařování *) (cm/min)</th> <th>Tepelný příkon *) (kJ/cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>138</td> <td>1,2</td> <td>95 ÷ 105</td> <td>15,0 ÷ 16,0</td> <td>DC / +</td> <td>2,0 ÷ 3,0</td> <td>8,3 ÷ 11,5</td> <td>5,9 ÷ 9,8</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>138</td> <td>1,2</td> <td>125 ÷ 135</td> <td>15,5 ÷ 16,5</td> <td>DC / +</td> <td>2,7 ÷ 3,7</td> <td>8,9 ÷ 12,7</td> <td>7,3 ÷ 12,0</td> </tr> <tr> <td>3÷n</td> <td>138</td> <td>1,2</td> <td>125 ÷ 135</td> <td>15,5 ÷ 16,5</td> <td>DC / +</td> <td>2,7 ÷ 3,7</td> <td>5,7 ÷ 8,3</td> <td>11,2 ÷ 18,6</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>			Vrstva	Metoda podle EN4063	Průměr příd. materiálu (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu / Polarita	Rychlost podávání (m/min)	Rychlost svařování *) (cm/min)	Tepelný příkon *) (kJ/cm)	1	138	1,2	95 ÷ 105	15,0 ÷ 16,0	DC / +	2,0 ÷ 3,0	8,3 ÷ 11,5	5,9 ÷ 9,8	2	138	1,2	125 ÷ 135	15,5 ÷ 16,5	DC / +	2,7 ÷ 3,7	8,9 ÷ 12,7	7,3 ÷ 12,0	3÷n	138	1,2	125 ÷ 135	15,5 ÷ 16,5	DC / +	2,7 ÷ 3,7	5,7 ÷ 8,3	11,2 ÷ 18,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vrstva	Metoda podle EN4063	Průměr příd. materiálu (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu / Polarita	Rychlost podávání (m/min)	Rychlost svařování *) (cm/min)	Tepelný příkon *) (kJ/cm)																																																
1	138	1,2	95 ÷ 105	15,0 ÷ 16,0	DC / +	2,0 ÷ 3,0	8,3 ÷ 11,5	5,9 ÷ 9,8																																																
2	138	1,2	125 ÷ 135	15,5 ÷ 16,5	DC / +	2,7 ÷ 3,7	8,9 ÷ 12,7	7,3 ÷ 12,0																																																
3÷n	138	1,2	125 ÷ 135	15,5 ÷ 16,5	DC / +	2,7 ÷ 3,7	5,7 ÷ 8,3	11,2 ÷ 18,6																																																
-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																
-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>Přídavný materiál</b></p> <p>Klasifikace; výrobní značka: Stein MEGAFIL 710M **)</p> <p>Tavidlo: -</p> <p>Zvláštní předpis pro sušení: -</p> <p>Ochranný plyn: EN ISO 14175 M21; 82%Ar + 18%CO2</p> <p>Průtok plynu: 18 ÷ 20 l/min</p> <p>Ochrana kořene: FP - ss nb</p> <p>Průtok plynu: -</p> <p>Druh wolframové el.; průměr: -</p> <p>Podrobnosti k drážkování / ochrana svařovací lázně: -</p> <p>Teplota předehřevu: 75°C</p> <p>Interpass teplota: 150°C</p> <p>Tepelné zprac. po svařování: -</p> <p>Čas; teplota; metoda: -</p> <p>Rychlost ohřevu a ochlaz. *): -</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>Další informace*)</b></p> <p>Max. šířka hous.: 20mm</p> <p>Amplituda: -</p> <p>Frekvence: -</p> <p>Čas prodlevy: -</p> <p>Pulsní svařování: -</p> <p>Výlet drátu: 18 ÷ 20mm</p> <p>Svař. plazmou: -</p> <p>Nast. úhlu hořáku: -</p> <p>*) Certificate 3.1 EN 10204 ; KV -40°C</p> <p>Druh přenosu: ISO 4063 - 138-D</p> <p>Ceq max.: 0,44</p> </div> </div>																																																								
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>Výrobce</b></p> <p>_____</p> <p>Jméno; datum; podpis</p> <p>*) je-li požadováno</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>Zkušební orgán, zkuš. organizace</b></p> <p>_____</p> <p>Jméno; datum; podpis</p> </div> </div>																																																								

**Tab. 8** Záznam ze svařování WR\_02

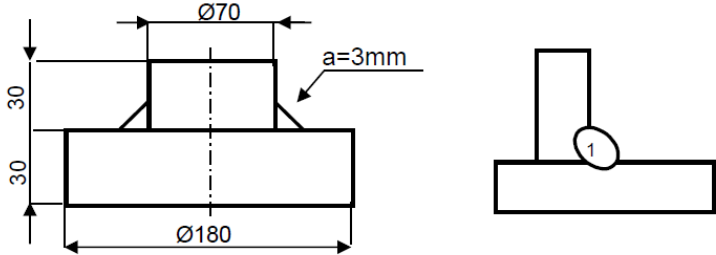
		Záznam ze svařování				Číslo: WR_02 / pWPS_02					
Datum svařování:		Přídavný materiál:		EN ISO 17632 T46 4 MM 1 H5							
Jméno svařeče:		Obchodní značka:		Stein MEGAFIL 710M							
Základní materiál:		Č.tavby:		123742							
Č.tavby		Plyn:		M21 EN ISO 14175; 82%Ar+18%CO2							
Rozměr desky:		Průtok plynu:		20 l/min							
Předehtnutí:		Poloha:		PH							
Kořen:		Tep.zpracování:		bez							
											
Hous.	Metoda svařování	Průměr příd. mat.	Napětí	Proud	Délka svaru	Čas svař.	Rychlost svařování	Tepelný příkon	Teplota před.	Prac. teplota	Poznámka
č.	EN 4063	mm	V	A	cm	s	cm/min	kJ/cm	°C	°C	-
kus č.1											
1	138	1,2	15,5	95	69	460	9,0	7,9	75		posuv 2,5m/min
2	138	1,2	16,1	127	69	407	10,2	9,6		90	posuv 3,2m/min
3	138	1,2	16,1	130	69	690	6,0	16,7		150	posuv 3,2m/min
4	138	1,2	15,6	129	69	575	7,2	13,4		150	posuv 3,2m/min
5	138	1,2	16,5	132	69	630	6,6	15,9		150	posuv 3,2m/min
6	138	1,2	16,5	131	69	575	7,2	14,4		150	posuv 3,2m/min
7	138	1,2	16,5	132	69	575	7,2	14,5		150	posuv 3,2m/min
8	138	1,2	16,5	132	69	575	7,2	14,5		150	posuv 3,2m/min
8	138	1,2	16,5	132	69	630	6,6	15,9		150	posuv 3,2m/min

Tab. 9 pWPS\_03 – koutový svar velikosti a3

Specifikace postupu svařování ČSN EN ISO 15609-1		Číslo: <b>pWPS_03</b>																																																						
Revize: 0																																																								
Místo: Výrobce: WPQR č.: (2626 - WPQR 14-03) Metoda svařování: 138-částečně mech. Druh svaru: FW	Zkuš. orgán, zkuš. organizace: Druh přípravy a čištění: frézováno nebo páleno, broušeno Tloušťka materiálu: $t \geq 5\text{mm EN}; t=15+60\text{mm DNV}$ Vnější průměr: $D \geq 35\text{mm}$ Poloha při svařování: PB Specifikace zákl. mat.: S235JR EN10025-2 + P355NL2 EN10028-3 ISO/TR15608: 1.1, 1.2 NVA + NVE36 DNV Metallic materials Pt.2Ch.2																																																							
<b>Příprava svarových ploch (náčrt *)</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <b>Tvar spoje</b>   </div> <div style="text-align: center;"> <b>Postup svařování</b>   </div> </div>																																																								
<b>Podrobnosti o svařování</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Vrstva</th> <th>Metoda podle EN4063</th> <th>Průměr před. materiálu (mm)</th> <th>Proud (A)</th> <th>Napětí (V)</th> <th>Druh proudu / Polarita</th> <th>Rychlost podávání (m/min)</th> <th>Rychlost svařování *) (cm/min)</th> <th>Tepelný příkon *) (kJ/cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>138</td> <td>1,2</td> <td>260 ÷ 270</td> <td>26,0 ÷ 27,0</td> <td>DC / +</td> <td>8,0 ÷ 9,0</td> <td>38,5 ÷ 47,0</td> <td>6,9 ÷ 9,1</td> </tr> <tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>			Vrstva	Metoda podle EN4063	Průměr před. materiálu (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu / Polarita	Rychlost podávání (m/min)	Rychlost svařování *) (cm/min)	Tepelný příkon *) (kJ/cm)	1	138	1,2	260 ÷ 270	26,0 ÷ 27,0	DC / +	8,0 ÷ 9,0	38,5 ÷ 47,0	6,9 ÷ 9,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vrstva	Metoda podle EN4063	Průměr před. materiálu (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu / Polarita	Rychlost podávání (m/min)	Rychlost svařování *) (cm/min)	Tepelný příkon *) (kJ/cm)																																																
1	138	1,2	260 ÷ 270	26,0 ÷ 27,0	DC / +	8,0 ÷ 9,0	38,5 ÷ 47,0	6,9 ÷ 9,1																																																
-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																
-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																
-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																
-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <b>Přídavný materiál</b>  Klasifikace; výrobní značka: EN ISO 17632 T46 4 MM 1 H5  Tavidlo: -  Zvláštní předpis pro sušení: -  Ochranný plyn: M21 EN ISO 14175; 82%Ar+18%CO2  Průtok plynu: 18 ÷ 20 l/min  Ochrana kořene: -  Průtok plynu: -  Druh wolframové el.; průměr: -  Podrobnosti k drážkování / ochrana svařovací lázně: -  Teplota předehřevu: <math>t \leq 60\text{mm } \geq 80^\circ\text{C}; 60 &lt; t \leq 100\text{mm } 100^\circ\text{C}; t &gt; 100\text{mm } 120^\circ\text{C}</math>  Interpass teplota: -  Tepelné zprac. po svařování: -  Čas; teplota; metoda: -  Rychlost ohřevu a ochlaz. *) - </div> <div style="width: 45%;"> <b>Další informace*)</b>  Max. šířka hous.: -  Amplituda: -  Frekvence: -  Čas prodlevy: -  Pulsní svařování: -  Výlet drátu: 18 ÷ 20mm  Svař. plazmou: -  Nast. úhlu hořáku: <math>70^\circ \rightarrow</math>    *) Certificate 3.1 EN 10204 ; KV -40°C  Druh přenosu: ISO 4063 - 138-G/S  Ceq max.: 0,45 </div> </div>																																																								
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <b>Výrobce</b>    Jméno; datum; podpis  *) je-li požadováno </div> <div style="width: 45%;"> <b>Zkušební orgán, zkuš. organizace</b>    Jméno; datum; podpis </div> </div>																																																								

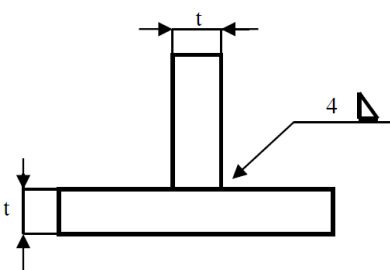
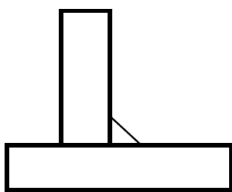


**Tab. 10** Záznam ze svařování WR\_03

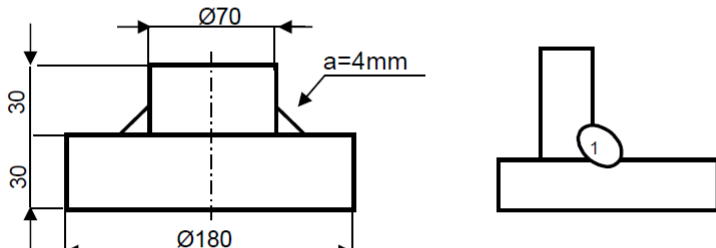
		Záznam ze svařování						Číslo: WR_03 / pWPS_03			
Jméno svařeče:		Obchodní značka:						Stein MEGAFIL 710M			
Základní materiál:		Č.tavby:						053543			
Č.tavby		Plyn:						M21 EN ISO 14175; 82%Ar+18%CO2			
Rozměr desky:		Průtok plynu:						18 l/min			
Předehtnutí:		Poloha:						PB			
Kořen:		Tep.zpracování:						bez			
											
Hous.	Metoda svařování	Průměr příd. mat.	Napětí	Proud	Délka svaru	Čas svař.	Rychlost svařování	Tepelný příkon	Teplota před.	Prac. teplota	Poznámka
č.	EN 4063	mm	V	A	cm	s	cm/min	kJ/cm	°C	°C	-
1	138	1,2	26,3	263	23	38	36,3	9,1	80	-	posuv 8,5m/min
											a=3,6mm
											70° ↘ →


**Obr. 12** Polotovary pro zhotovení vzorků koutových svarů

Tab. 11 pWPS\_04 - koutový svar velikosti a4

<b>Specifikace postupu svařování</b> <b>ČSN EN ISO 15609-1</b>						Číslo: <b>pWPS_04</b>		
Revize: 0								
Místo:			Zkuš. orgán, zkuš. organizace:					
Výrobce:			Druh přípravy a čištění:			frézováno nebo páleno, broušeno		
WPQR č.: (2625 - WPQR 14-04)			Tloušťka materiálu:			t≥5mm EN; t=15÷60mm DNV		
Metoda svařování: 138-částečně mech.			Vnější průměr:			D≥35mm		
Druh svaru: FW			Poloha při svařování:			PB		
			Specifikace zákl. mat.:			S235JR EN10025-2 ÷ P355NL2 EN10028-3		
Příprava svarových ploch (náčrt *)			ISO/TR15608: 1.1, 1.2			NVA ÷ NVE36 DNV Metallic materials Pt.2Ch.2		
<u><b>Tvar spoje</b></u>					<u><b>Postup svařování</b></u>			
								
<b>Podrobnosti o svařování</b>								
Vrstva	Metoda podle EN4063	Průměr před. materiálu (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu / Polarita	Rychlost podávání (m/min)	Rychlost svařování *) (cm/min)	Tepelný příkon *) (kJ/cm)
1	138	1,2	270 ÷ 280	26,2 ÷ 27,2	DC / +	9,5 ÷ 10,5	33,0 ÷ 40,4	8,4 ÷ 11,1
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Přídavný materiál</b>			Stein MEGAFIL 710M **)			<b>Další informace*)</b>		
Klasifikace; výrobní značka:			EN ISO 17632 T46 4 MM 1 H5			Max. šířka hous.: -		
Tavidlo:			-			Amplituda: -		
Zvláštní předpis pro sušení:			-			Frekvence: -		
Ochranný plyn:			M21 EN ISO 14175; 82%Ar+18%CO2			Čas prodlevy: -		
Průtok plynu:			18 ÷ 20 l/min			Pulsní svařování: -		
Ochrana kořene:			-			Výlet drátu: 18 ÷ 20mm		
Průtok plynu:			-			Svař. plazmou: -		
Druh wolframové el.; průměr:			-			Nast. úhlu hořáku: 70° →		
Podrobnosti k drážkování / ochrana svařovací lázně:			-					
Teplota předehřevu:			t≤60mm ≥80°C; 60<t≤100mm 100°C, t>100mm 120°C					
Interpass teplota:			-			*) Certificate 3.1 EN 10204 ; KV -40°C		
Tepelné zprac. po svařování:			-			Druh přenosu: ISO 4063 - 138-G/S		
Čas; teplota; metoda:			-			Ceq max.: 0,45		
Rychlost ohřevu a ochlaz. *)			-					
<b>Výrobce</b>					<b>Zkušební orgán, zkuš. organizace</b>			
Jméno; datum; podpis					Jméno; datum; podpis			
*) je-li požadováno								

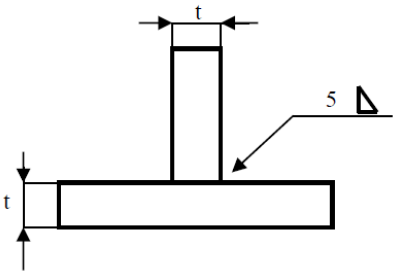
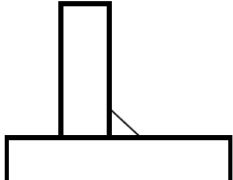
**Tab. 12** Záznam ze svařování WR\_04

		Záznam ze svařování				Číslo: WR_04 / pWPS_04					
Jméno svařeče:		Obchodní značka:		Stein MEGAFIL 710M							
Základní materiál:		Č.tavby:		053543							
Č.tavby		Plyn:		M21 EN ISO 14175; 82%Ar+18%CO2							
Rozměr desky:		Průtok plynu:		18l/min							
Předehtnutí:		Poloha:		PB							
Kořen:		Tep.zpracování:		bez							
											
Hous.	Metoda svařování	Průměr příd. mat.	Napětí	Proud	Délka svaru	Čas svař.	Rychlost svařování	Tepelný příkon	Teplota před.	Prac. teplota	Poznámka
č.	EN 4063	mm	V	A	cm	s	cm/min	kJ/cm	°C	°C	-
1a	138	1,2	26,7	273	23	44	31,4	11,2	80	-	posuv 10,0m/min
											a=4,5mm
											70° ↙ →

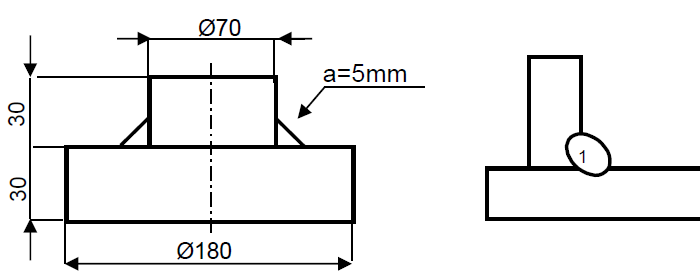

**Obr. 13** Zkušební vzorky koutových svarů



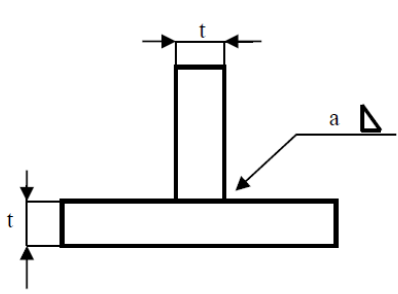
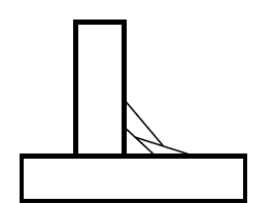
Tab. 13 pWPS\_05 - koutový svar velikosti a5

Specifikace postupu svařování ČSN EN ISO 15609-1		Číslo: <b>pWPS_05</b>						
Revize: 0								
Místo: Výrobce: WPQR č.: (2627 - WPQR 14-05) Metoda svařování: 138-částečně mech. Druh svaru: FW	Zkuš. orgán, zkuš. organizace: Druh přípravy a čištění: frézováno nebo páleno, broušeno Tloušťka materiálu: $t \geq 5\text{mm EN}; t = 15 + 60\text{mm DNV}$ Vnější průměr: $D \geq 35\text{mm}$ Poloha při svařování: PB Specifikace zákl. mat.: S235JR EN10025-2 + P355NL2 EN10028-3 ISO/TR15608: 1.1, 1.2 NVA + NVE36 DNV Metallic materials Pt.2Ch.2							
<b>Příprava svařových ploch (náčrt *)</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <b>Tvar spoje</b>   </div> <div style="text-align: center;"> <b>Postup svařování</b>   </div> </div>								
<b>Podrobnosti o svařování</b>								
Vrstva	Metoda podle EN4063	Průměr příd. materiálu (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu / Polarita	Rychlost podávání (m/min)	Rychlost svařování *) (cm/min)	Tepelný příkon *) (kJ/cm)
1	138	1,2	270 ÷ 280	26,0 ÷ 27,0	DC / +	9,5 ÷ 10,5	20,5 ÷ 25,1	13,4 ÷ 17,7
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Přídavný materiál</b>			<b>Stein MEGAFIL 710M **)</b>			<b>Další informace*)</b>		
Klasifikace; výrobní značka:			EN ISO 17632 T46 4 MM 1 H5			Max. šířka hous.: -		
Tavidlo:			-			Amplituda: -		
Zvláštní předpis pro sušení:			-			Frekvence: -		
Ochranný plyn:			M21 EN ISO 14175; 82%Ar+18%CO2			Čas prodlevy: -		
Průtok plynu:			18 ÷ 20 l/min			Pulsní svařování: -		
Ochrana kořene:			-			Výlet drátu: 18 ÷ 20mm		
Průtok plynu:			-			Svař. plazmou: -		
Druh wolframové el.; průměr:			-			Nast. úhlu hořáku: 70° →		
Podrobnosti k drážkování / ochrana svařovací lázně:			-					
Teplota předehřevu:			$t \leq 60\text{mm } \geq 80^\circ\text{C}; 60 < t \leq 100\text{mm } 100^\circ\text{C}; t > 100\text{mm } 120^\circ\text{C}$			*) Certificate 3.1 EN 10204 ; KV -40°C		
Interpass teplota:			-			Druh přenosu: ISO 4063 - 138-G/S		
Tepelné zprac. po svařování:			-			Ceq max.: 0,45		
Čas; teplota; metoda:			-					
Rychlost ohřevu a ochlaz. *)			-					
<b>Výrobce</b>			<b>Zkušební orgán, zkuš. organizace</b>					
-----			-----					
Jméno; datum; podpis			Jméno; datum; podpis					
*) je-li požadováno								

**Tab. 14** Záznam ze svařování WR\_05

		Záznam ze svařování				Číslo: WR_05 / pWPS_05					
Jméno svařeče:		Obchodní značka:				Stein MEGAFIL 710M					
Základní materiál:		Č.tavby:				053543					
Č.tavby		Plyn:				M21 EN ISO 14175; 82%Ar+18%CO2					
Rozměr desky:		Průtok plynu:				18l/min					
Předechnutí:		Poloha:				PB					
Kořen:		Tep.zpracování:				bez					
											
Hous.	Metoda svařování	Průměr příd. mat.	Napětí	Proud	Délka svaru	Čas svař.	Rychlost svařování	Tepelný příkon	Teplota před.	Prac. teplota	Poznámka
č.	EN 4063	mm	V	A	cm	s	cm/min	kJ/cm	°C	°C	-
1a	138	1,2	26,5	275	23	70	19,7	17,7	80	-	posuv 10,0m/min
											a=5,3mm
							min.	13,4			70° ↘ →

Tab. 15 pWPS\_06 – koutový svar velikosti a8

<b>Specifikace postupu svařování</b> <b>ČSN EN ISO 15609-1</b>					Číslo: <b>pWPS_06</b>			
Revize: 0								
Místo:		Zkuš. orgán, zkuš. organizace:						
Výrobce:		Druh přípravy a čištění: frézováno nebo páleno, broušeno						
WPQR č.: (2628 - WPQR 14-06)		Tloušťka materiálu: t <sub>≥</sub> 5mm EN; t=15+60mm DNV						
Metoda svařování: 138-částečně mech.		Vnější průměr: D <sub>≥</sub> 35mm						
Druh svaru: FW		Poloha při svařování: PB						
Velikost svaru: a <sub>≥</sub> 6mm EN; 6 <sub>≥</sub> a <sub>≥</sub> 16mm DNV		Specifikace zákl. mat.: S235JR EN10025-2 + P355NL2 EN10028-3						
Příprava svarových ploch (náčrt *)		ISO/TR15608: 1.1, 1.2 NVA + NVE36 DNV Metallic materials Pt.2Ch.2						
<u><b>Tvar spoje</b></u>				<u><b>Postup svařování</b></u>				
								
<b>Podrobnosti o svařování</b>								
Vrstva	Metoda podle EN4063	Průměr příd. materiálu (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu / Polarita	Rychlost podávání (m/min)	Rychlost svařování *) (cm/min)	Tepelný příkon *) (kJ/cm)
1	138	1,2	270 ÷ 280	24,3 ÷ 25,3	DC / +	9,5 ÷ 10,5	63,0 ÷ 76,8	4,1 ÷ 5,4
2+n	138	1,2	258 ÷ 268	24,8 ÷ 25,8	DC / +	9,5 ÷ 10,5	39,1 ÷ 47,2	6,5 ÷ 8,5
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Přídavný materiál</b>			Stein MEGAFIL 710M **)		<b>Další informace*)</b>			
Klasifikace; výrobní značka:			EN ISO 17632 T46 4 MM 1 H5		Max. šířka hous.: -			
Tavidlo:			-		Amplituda: -			
Zvláštní předpis pro sušení:			-		Frekvence: -			
Ochranný plyn:			M21 EN ISO 14175; 82%Ar+18%CO2		Čas prodlevy: -			
Průtok plynu:			18 ÷ 20 l/min		Pulsní svařování: -			
Ochrana kořene:			-		Výlet drátu: 18 ÷ 20mm			
Průtok plynu:			-		Svař. plazmou: -			
Druh wolframové el.; průměr:			-		Nast. úhlu hořáku: 1 - 70° →			
Podrobnosti k drážkování / ochrana svařovací lázně:			-		2÷n - 90° ←			
Teplota předehřevu:			t <sub>≤</sub> 40mm $\geq$ 10°C; 40<t <sub>≤</sub> 60mm 75°C; 60<t <sub>≤</sub> 100mm 100°C, t>100mm 120°C					
Interpass teplota:			150°C					
Tepelné zprac. po svařování:			*) Certificate 3.1 EN 10204 ; KV -40°C					
Čas; teplota; metoda:			Druh přenosu: ISO 4063 - 138-G/S					
Rychlost ohřevu a ochlaz. *)			Ce <sub>q</sub> max.: 0,45					
<b>Výrobce</b>					<b>Zkušební orgán, zkuš. organizace</b>			
-----					-----			
Jméno; datum; podpis					Jméno; datum; podpis			
*) je-li požadováno								

**Tab. 16** Záznam ze svařování WR\_06

# Záznam ze svařování

Číslo:

WR\_06 / pWPS\_06

Jméno svařeče:

Obchodní značka:

Stein MEGAFIL 710M

Základní materiál:

P355NL2

Č.tavby:

053543

Č.tavby

25853

Plyn:

M21 EN ISO 14175; 82%Ar+18%CO2

Rozměr desky:

Ø180, Ø70 mm

Průtok plynu:

18l/min

Předehnutí:

-

Poloha:

PB

Kořen:

sl

Tep.zpracování:

bez

Hous.	Metoda svařování	Průměr příd. mat.	Napětí	Proud	Délka svaru	Čas svař.	Rychlost svařování	Tepelný příkon	Teplota před.	Prac. teplota	Poznámka
č.	EN 4063	mm	V	A	cm	s	cm/min	kJ/cm	°C	°C	-
1	138	1,2	24,8	273	23	23	60,0	5,4	-	-	70° →
2	138	1,2	25,3	261	23	38	36,3	8,7	-	121	90° ←
3	138	1,2	25,4	263	23	36	38,3	8,4	-	150	90° ←
											posuv 10,0m/min
											a=8,0mm

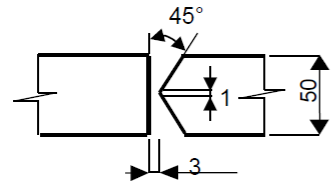
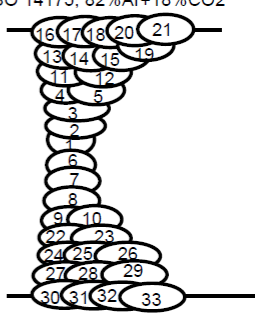

**Obr. 14** Zkušební vzorek č. 2628

Tab. 17 pWPS\_07 – K svar na plechu tloušťky 50 mm

<b>Specifikace postupu svařování</b>		Číslo: <b>pWPS_07</b>						
<b>ČSN EN ISO 15609-1</b>		Revize: 0						
Místo: Výrobce: WPQR č.: (2624 - WPQR 14-07) Metoda svařování: 138-částečně mech. Druh svaru: BW - K	Zkuš. orgán, zkuš. organizace: Druh přípravy a čištění: frézováno nebo páleno, broušeno Tloušťka materiálu: t=25÷100mm Vnější průměr: D≥500mm, rot.D≥150mm; D≥500mm DNV Poloha při svařování: PA Specifikace zákl. mat.: S235JR EN10025-2 + P355NL2 EN10028-3 ISO/TR15608: 1.1, 1.2 NVA + NVE36 DNV Metallic materials Pt.2Ch.2							
<b>Příprava svarových ploch (náčrt *)</b>								
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>Tvar spoje</b></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>Postup svařování</b></p> </div> </div>								
<b>Podrobnosti o svařování</b>								
Vrstva	Metoda podle EN4063	Průměr příd. materiálu (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu / Polarita	Rychlost podávání (m/min)	Rychlost svařování *) (cm/min)	Tepelný příkon *) (kJ/cm)
1	138	1,2	120 ÷ 130	15,8 ÷ 16,8	DC / +	2,7 ÷ 3,7	15,7 ÷ 22,2	4,1÷6,7
2÷z	138	1,2	260 ÷ 280	25,5 ÷ 27,0	DC / +	10,0 ÷ 11,0	33,3 ÷ 48,2	6,6÷10,9
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Přídavný materiál</b>			Stein MEGAFIL 710M **)			<b>Další informace*)</b>		
Klasifikace; výrobní značka:			EN ISO 17632 T46 4 MM 1 H5			Max.šířka hous.: 12 ÷ 14mm		
Tavidlo:			-			Amplituda: -		
Zvláštní předpis pro sušení:			-			Frekvence: -		
Ochranný plyn:			M21 EN ISO 14175; 82%Ar+18%CO2			Čas prodlevy: -		
Průtok plynu:			18 ÷ 20 l/min			Pulsní svařování: -		
Ochrana kořene:			FP - bs gg			Výlet drátu: 18 ÷ 20mm		
Průtok plynu:			-			Svař. plazmou: -		
Druh wolframové el.; průměr:			-			Nast. úhlu hořáku: -		
Podrobnosti k drážkování / ochrana svařovací lázně:			drážkováno uhlíkovou elektrodou a broušeno			*) Certificate 3.1 EN 10204 ; KV -40°C		
Teplota předehřevu:			25≤t≤60mm 75°C, 60<t≤100mm 100°C, t>100mm 120°C			Druh přenosu: ISO 4063 - 138-D/G/S		
Interpass teplota:			220°C			Ceq max.: 0,45		
Tepelné zprac. po svařování:			-			-		
Čas; teplota; metoda:			-			-		
Rychlost ohřevu a ochlaz. *)			-			-		
<b>Výrobce</b>			<b>Zkušební orgán, zkuš. organizace</b>					
Jméno; datum; podpis			Jméno; datum; podpis					
*) je-li požadováno								



Tab. 18 Záznam ze svařování WR\_07

Záznam ze svařování						Číslo: WR_07 / pWPS_07					
Jméno svařeče:		Obchodní značka:		Stein MEGAFIL 710M							
Základní materiál:		Č.tavby:		123742							
Č.tavby		Plyn:		M21 EN ISO 14175; 82%Ar+18%CO2							
Rozměr desky:		Průtok plynu:		18 l/min							
Předehnutí:		Poloha:		PA							
Kořen:		Tep.zpracování:		bez							
											
Hous.	Metoda svařování	Průměr příd. mat.	Napětí	Proud	Délka svaru	Čas svař.	Rychlost svařování	Tepelný příkon	Teplota před.	Prac. teplota	Poznámka
č.	EN 4063	mm	V	A	cm	s	cm/min	kJ/cm	°C	°C	-
1	138	1,2	16,3	126	75	248	18,1	5,4	75		posuv 3,2m/min
2	138	1,2	26,5	270	75	125	36,0	9,5		195	posuv 10,5m/min
3	138	1,2	26,4	270	75	163	27,6	12,4		205	↓
4	138	1,2	26,6	258	75	76	59,2	5,6		220	
5	138	1,2	26,6	270	75	125	36,0	9,6		175	
6	138	1,2	26,2	260	75	144	31,3	10,5		220	otočeno, drážkováno
7	138	1,2	26,7	252	75	167	26,9	12,0		220	
8	138	1,2	25,8	270	75	188	23,9	14,0		195	
9	138	1,2	26,2	263	75	79	57,0	5,8		175	
10	138	1,2	25,9	279	75	123	36,6	9,5		198	
11	138	1,2	25,9	275	75	107	42,1	8,1		201	otočeno
12	138	1,2	25,9	275	75	156	28,8	11,9		212	
13	138	1,2	25,8	285	75	106	42,5	8,3		220	
14	138	1,2	25,8	280	75	94	47,9	7,2		206	
15	138	1,2	25,8	286	75	156	28,8	12,3		198	
16	138	1,2	25,8	278	75	114	39,5	8,7		204	
17	138	1,2	25,8	280	75	125	36,0	9,6		212	
18	138	1,2	25,8	270	75	116	38,8	8,6		202	
19	138	1,2	25,8	266	75	79	57,0	5,8		214	
20	138	1,2	25,8	266	75	83	54,2	6,1		210	
21	138	1,2	26,1	268	75	104	43,3	7,8		198	
22	138	1,2	26,1	269	75	97	46,4	7,3		201	otočeno
23	138	1,2	26,0	280	75	156	28,8	12,1		220	
24	138	1,2	26,0	270	75	106	42,5	7,9		217	
25	138	1,2	26,0	270	75	77	58,4	5,8		201	
26	138	1,2	26,0	281	75	114	39,5	8,9		206	
27	138	1,2	26,0	277	75	94	47,9	7,2		220	
28	138	1,2	26,0	270	75	87	51,7	6,5		209	
29	138	1,2	26,0	270	75	107	42,1	8,0		211	
30	138	1,2	25,6	283	75	105	42,9	8,1		220	
31	138	1,2	25,6	280	75	102	44,1	7,8		220	
32	138	1,2	25,6	280	75	105	42,9	8,0		210	
33	138	1,2	25,6	280	75	115	39,1	8,8		220	



*Obr. 15 Vzorek č. 2624 v průběhu svařování*

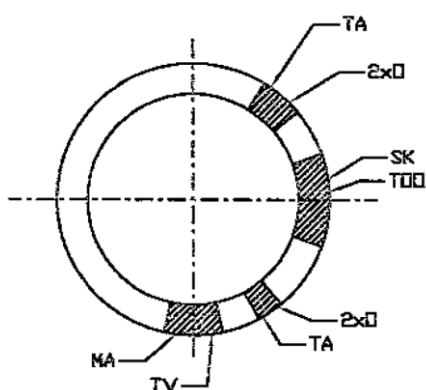
### 3.2.2 Odběr zkušebních vzorků – rozřezové plány

Odebírání vzorků se provádí dle rozřezových plánů (výkresů). Ty jsou všeobecně stanoveny v normě ČSN EN ISO 15614-1 v kap. 7.2 a mohou být dále upřesněny dle požadavku.

Odebrání vzorků ze zkušebního kusu se provádí až po provedení všech požadovaných nedestruktivních zkoušek, které vyhovely příslušným kritériím pro danou metodu zkoušení.

Vzorky se odebírají z míst, která nemají vady, a to ani přípustné v rámci mezních hodnot přípustnosti pro danou metodu nedestruktivního zkoušení. [6]

- **Rozřezový plán pro trubku (vzorek č. 2629)**



**TA** – 2x Příčná zkouška tahem EN ISO 4136

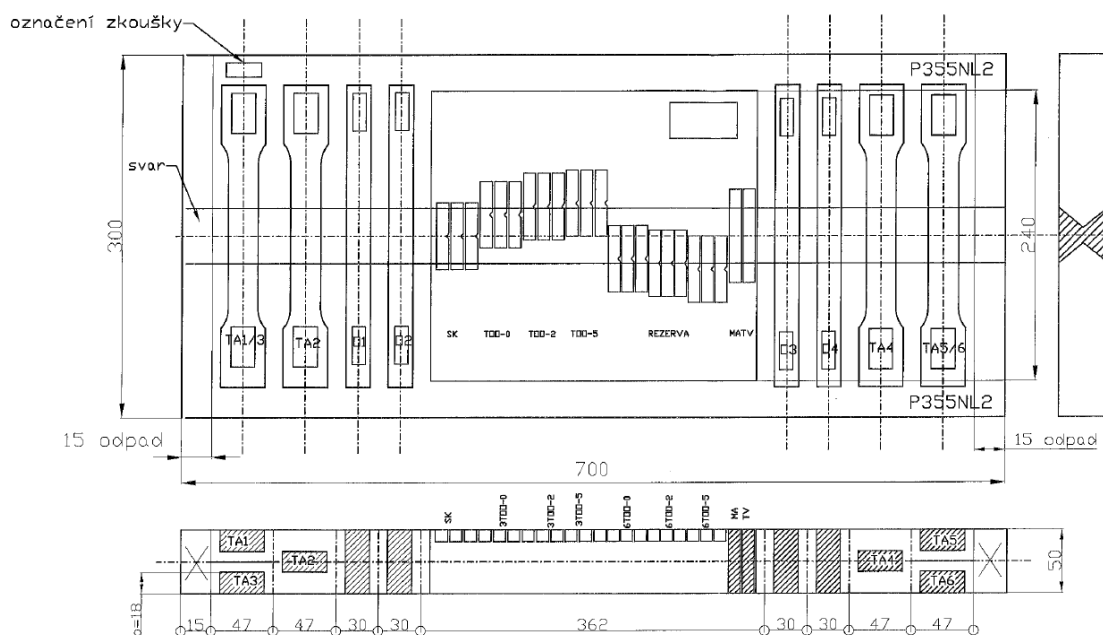
**O** – 4x Zkouška lámavosti EN ISO 5173

**SK** – 3x, **TOO** – 9x (umístění vzorků TOO dle rozřezového plánu pro plech) EN ISO 9016

**MA** – 1x Makroskopická kontrola EN 1321

**TV** – 1x Zkouška tvrdosti EN ISO 9015-1 HV10

- Rozřezový plán pro plech (vzorek č. 2624)



**Obr. 16** Rozřezový plán svarové desky č. 2624

**TA** – 6x Příčná zkouška tahem EN ISO 4136

**O** – 4x Zkouška lámavosti – boční ohyb EN ISO 5173

**SK** – 3x, **TOO-0-3x**, **TOO-2-3x**, **TOO-5-3x**; -40°C; min. 40J – Zkouška rázem v ohybu EN ISO 9016, V-vrub ISO 148-1

**MA** – 1x Makroskopická kontrola EN 1321

**TV** – 1x Zkouška tvrdosti EN ISO 9015-1 HV10, max. 325HV



**Obr. 17** Vzorky připravené na destruktivní zkoušení

### 3.3 Rozsah nedestruktivního a destruktivního zkoušení

Rozsahy NDT a DT zkoušení jsou pro jednotlivé typy zkušebních svarových spojů specifikovány v následujících tabulkách. Jejich rozsah je stanoven na základě požadavků norem ČSN EN ISO 15614-1 a NORSOK M101.

Pokud je uvedena teplota zkoušení 20°C, je tím myšlena pokojová teplota, nikoli teplota přesně stanovená.

#### 3.3.1 Koutové sváry (WPQR-03, 04, 05, 06)

*Tab. 19 Rozsah zkoušení pro koutové svary*

Č.	Typ zkoušky	Norma provádění	Norma hodnocení	Teplota zkoušení	Specifikace
1.	Vizuální kontrola	ČSN EN ISO 17637	ČSN EN ISO 5817/B	+20°C	-
2.	Magnetická zkouška	ČSN EN ISO 17638 / NORSOK M101	ČSN EN ISO 23278 Grade 1/ NORSOK M101	+20°C	-
3.	Zkouška tvrdosti	ČSN EN ISO 9015-1	ČSN EN ISO 15614-1 (max. 380HV10) / DNV-OS-C401 (max. 350HV10)	+20°C	Umístění vpichů provést dle ČSN EN ISO 15614-1, čl.7.4.6
4.	Zkouška makrostruktury	ČSN EN ISO 17639 / NORSOK M101	ČSN EN ISO 15614-1, ČSN EN ISO 5817/B, NORSOK M101, DNV-OS-C401	+20°C	M 2:1

**3.3.2 ½ V svár na trubce (WPQR-01, 02)**

Vzorky s tímto svarem jsou ve dvojím provedení a to:

- zavařeno v poloze PC,
- zavařeno v poloze PH.

**Tab. 20 Rozsah zkoušení pro ½ V svár na trubce**

Č.	Typ zkoušky	Norma provádění	Norma hodnocení	Teplota zkoušení	Specifikace
1.	Vizuální kontrola	ČSN EN ISO 17637	ČSN EN ISO 5817/B	+20°C	-
2.	Magnetická zkouška	ČSN EN ISO 17638 / NORSOK M101	ČSN EN ISO 23278 Grade 1/ NORSOK M101	+20°C	-
3.	Zkouška UT	ČSN EN ISO 17640 / NORSOK M101	ČSN EN ISO 23279 stupeň přípustnosti 1 / NORSOK M101	+20°C	
4.	Příčná zkouška tahem	ČSN EN ISO 6892-1	ČSN EN ISO 15614-1	+20°C	Stanovení RM 4 vzorky pro obsazení celé tloušťky plechu
5.	Zkouška lámavosti	ČSN EN ISO 5173	ČSN EN ISO 15614-1	+20°C	4 x boční ohyb, průměr válečku 4xt, úhel ohybu 180, 2ks z lící strany, 2ks ze strany kořene
6.	Zkouška tvrdosti	ČSN EN ISO 9015-1	ČSN EN ISO 15614-1 (max. 380HV10) / DNV-OS-C401 (max. 350HV10)	+20°C	Umístění vpichů provést dle ČSN EN ISO 15614-1, čl.7.4.6
8.	Zkouška makrostruktury	ČSN EN ISO 17639 / NORSOK M101	ČSN EN ISO 15614-1, ČSN EN ISO 5817/B, NORSOK M101, DNV-OS-C401	+20°C	M 2:1
9.	Zkouška rázem v ohybu	ČSN ISO 148-1	ČSN EN ISO 15614-1, NORSOK M101, DNV-OS-C401	-40°C	KV2, Min. 36J
10.	CTOD Test	NORSOK M101	NORSOK M101	-10°C	



### 3.3.3 K-svar na desce (WPQR-07)

Na tomto typu svaru bylo prováděno destruktivní zkoušení na vzorcích bez tepelného zpracování i po tepelném zpracování.

**Tab. 21** Rozsah zkoušení pro K-svar na desce

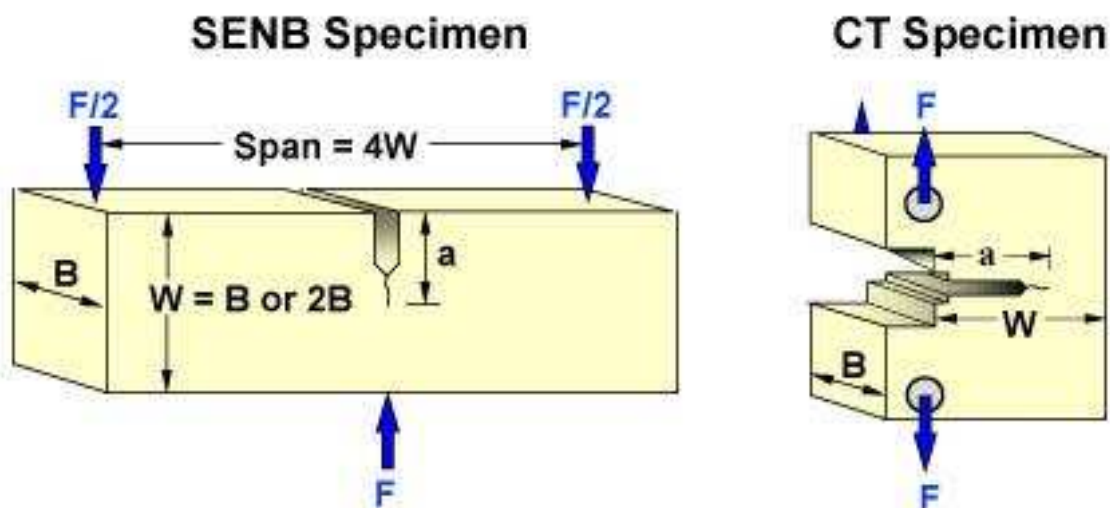
Č.	Typ zkoušky	Norma provádění	Norma hodnocení	Teplota zkoušení	Specifikace
1.	Vizuální kontrola	ČSN EN ISO 17637	ČSN EN ISO 5817/B	+20°C	-
2.	Magnetická zkouška	ČSN EN ISO 17638 / NORSOK M101	ČSN EN ISO 23278 Grade 1/ NORSOK M101	+20°C	-
3.	Zkouška UT	ČSN EN ISO 17640 / NORSOK M101	ČSN EN ISO 23279 stupeň přípustnosti 1 / NORSOK M101	+20°C	
4.	Příčná zkouška tahem	ČSN EN ISO 6892-1	ČSN EN ISO 15614-1	+20°C	Stanovení RM 4 vzorky pro obsazení celé tloušťky plechu
5.	Zkouška lámavosti	ČSN EN ISO 5173	ČSN EN ISO 15614-1	+20°C	4 x boční ohyb, průměr válečku 4xt, úhel ohybu 180
6.	Zkouška tvrdosti	ČSN EN ISO 9015-1	ČSN EN ISO 15614-1 (max. 380HV10) / DNV-OS-C401 (max. 350HV10)	+20°C	Umístění vpichů provést dle ČSN EN ISO 15614-1, čl.7.4.6
8.	Zkouška makrostruktury	ČSN EN ISO 17639 / NORSOK M101	ČSN EN ISO 15614-1, ČSN EN ISO 5817/B, NORSOK M101, DNV-OS-C401	+20°C	M 2:1
9.	Zkouška rázem v ohybu	ČSN ISO 148-1	ČSN EN ISO 15614-1, NORSOK M101, DNV-OS-C401	-40°C	KV2, Min. 36J
10.	CTOD Test	NORSOK M101	NORSOK M101	-10°C	

### 3.4 Stanovení lomové houževnatosti

Úkolem je stanovit hodnotu CTOD, čímž se rozumí stanovení lomové houževnatosti při rovinné deformaci. Zkouška se provádí na vzorku z homogenního kovového materiálu, který je opatřen vrubem a únavovou trhlinou předem vytvořenou cyklováním. Trhlina se otevírá na základě působení pomalu vzrůstající síly.

#### Zkušební vzorek

Jedná se o zkušební desku s jednostranným vrubem a únavovou trhlinou zatěžovanou tahovou silou.



*Obr. 18 Zkušební vzorky pro stanovení lomové houževnatosti [22]*

#### Zkušební zařízení

Zkušební zařízení (stroj) musí být kalibrován v souladu s ISO 7500-1. Zkušební stroj musí být schopen automaticky zaznamenávat síly aplikované na vzorek. [12]

V našem případě byly zkoušeny plechy tloušťky 50 mm s K-svarem. A to ve stavu po zavaření i po tepelném zpracování. Dále pak  $\frac{1}{2}$  V-svar na trubce 2019,1 x 23 mm na vzorcích zavařených jak v poloze PC, tak v poloze PH.

Vrub vzorků byl umístěn ve svarovém kovu, v hrubozrnném pásmu tepelně ovlivněné oblasti a na rozhraní podkritického a interkritického pásma tepelně ovlivněné oblasti. Pro jednotlivá pásma jsou zhotovena vždy tři zkušební tělesa, tudíž 9 zkušebních těles z každého svařeného vzorku. Zkoušky lomové houževnatosti byly prováděny při teplotě  $-10^{\circ}\text{C}$ .

### 3.5 Výsledky destruktivního zkoušení

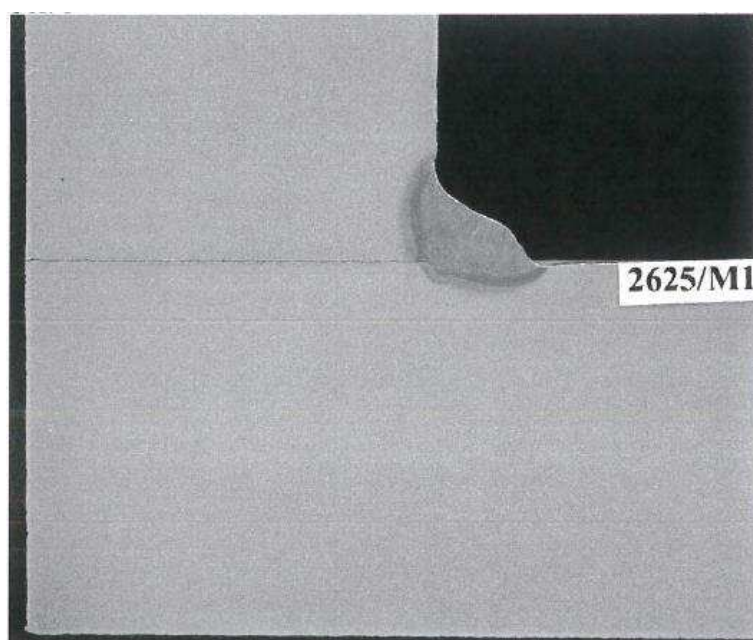
Výsledky destruktivního zkoušení jsou uvedeny v následujících tabulkách. Nedestruktivní zkoušení a zkoušky makrostruktury byly u všech vzorků vyhodnoceny jako vyhovující. Kontrola makrostruktury byla prováděna v dvojnásobném zvětšení po naleptání 15% kyselinou dusičnou ( $\text{HNO}_3$ ).

#### 3.5.1 Koutový svar a3

Tvrдост pro daný materiál může být dle normy ČSN EN ISO 15614-1 maximálně 380 HV 10.

**Tab. 22** Výsledky zkoušky tvrdosti koutového svaru a3

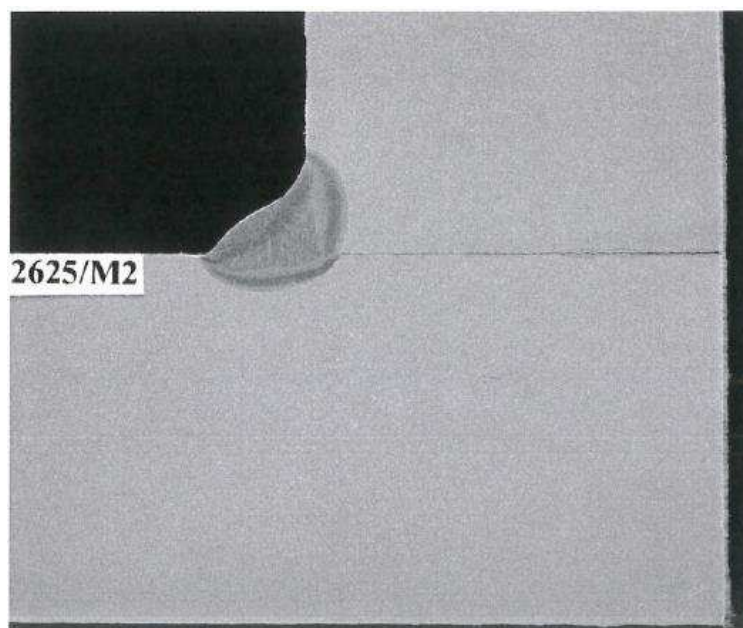
Zkouška tvrdosti ČSN EN ISO 9015-1						
Číslo vzorku	Oblast zkoušení					Hodnocení
	ZM	TOO	SK	TOO	ZM	
2626-M1-1	161	342	248	348	174	Vyhověl
2626-M1-2	161	347	248	351	180	Vyhověl
2626-M1-3	150	357	236	320	190	Vyhověl
2626-M1-4	156	346	218	302	160	Vyhověl



**Obr. 19** Makrostruktura svarového spoje a3- vzorek M1

Velikost koutového svaru a = 4,1mm, TOO = 2,2mm, makrostruktura bez vad.





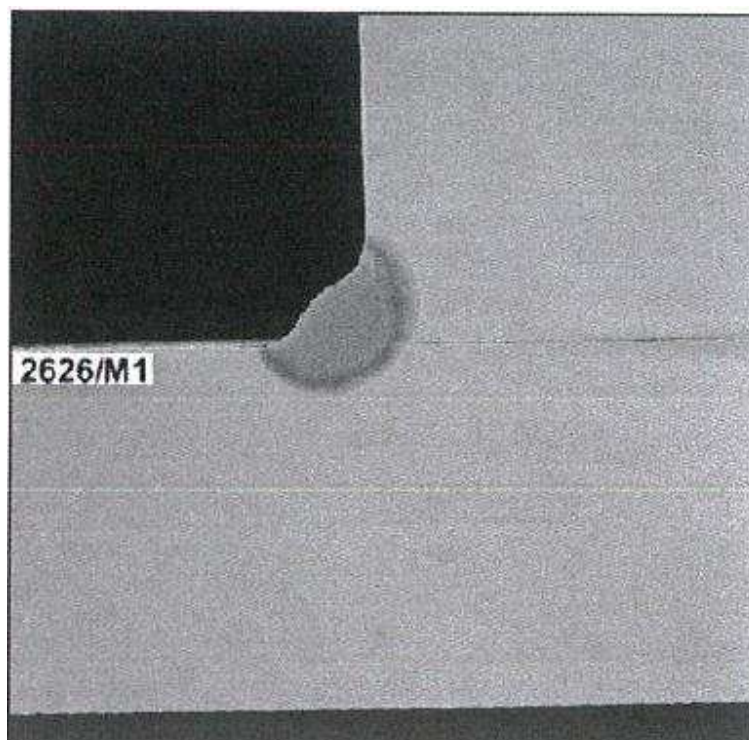
**Obr. 20** Makrostruktura svarového spoje a3- vzorek M2

Velikost koutového svaru a = 3,9mm, TOO = 2,1mm, makrostruktura bez vad.

### 3.5.2 Koutový svar a4

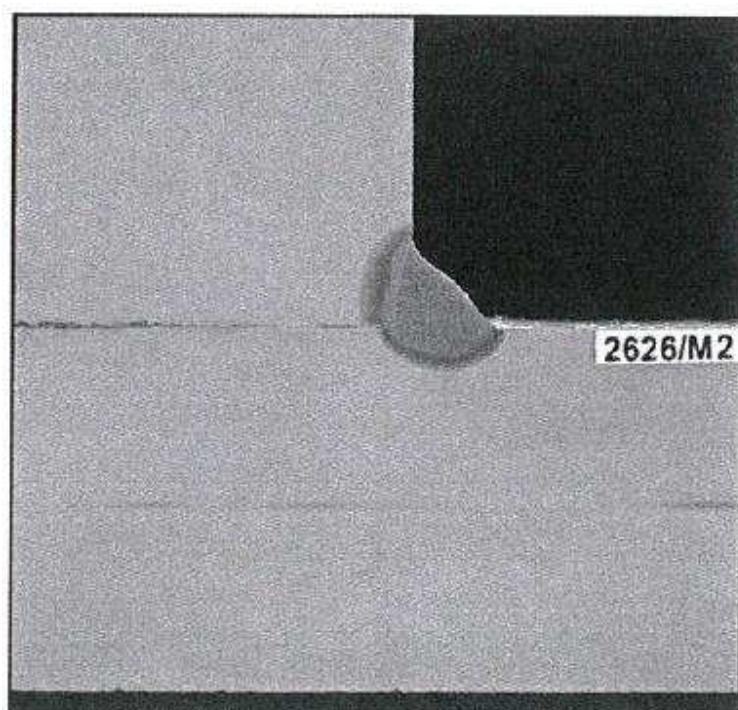
**Tab. 23** Výsledky zkoušky tvrdosti koutového svaru a4

Zkouška tvrdosti ČSN EN ISO 9015-1						
Číslo vzorku	Oblast zkoušení					Hodnocení
	ZM	TOO	SK	TOO	ZM	
2625-M1-1	162	330	259	366	170	Vyhověl
2625-M1-2	167	254	274	360	170	Vyhověl
2625-M1-3	151	260	236	353	160	Vyhověl
2625-M1-4	165	285	228	345	163	Vyhověl



**Obr. 21** Makrostruktura svarového spoje a4- vzorek M1

Velikost koutového svaru  $a = 5,0\text{mm}$ , TOO = 3,6mm, makrostruktura bez vad.



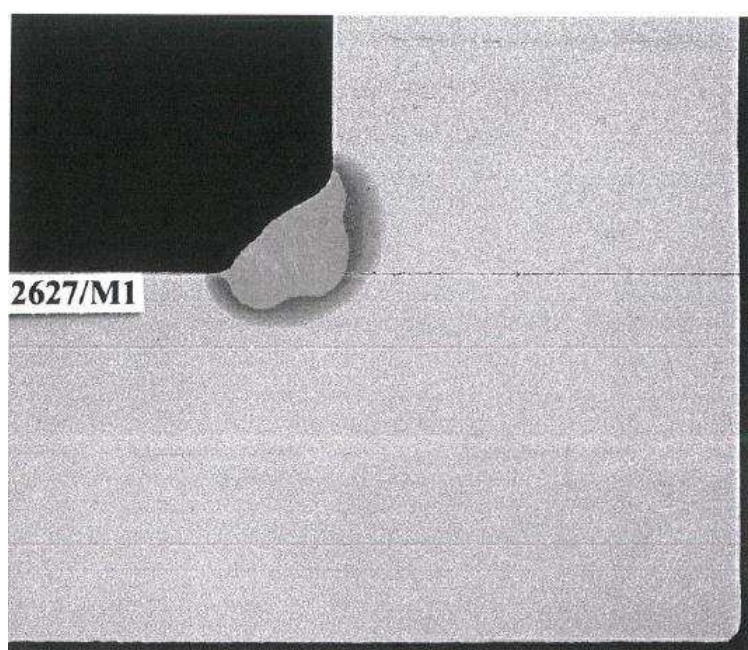
**Obr. 22** Makrostruktura svarového spoje a4- vzorek M2

Velikost koutového svaru  $a = 4,6\text{mm}$ , TOO = 3,4mm, makrostruktura bez vad.

### 3.5.3 Koutový svar a5

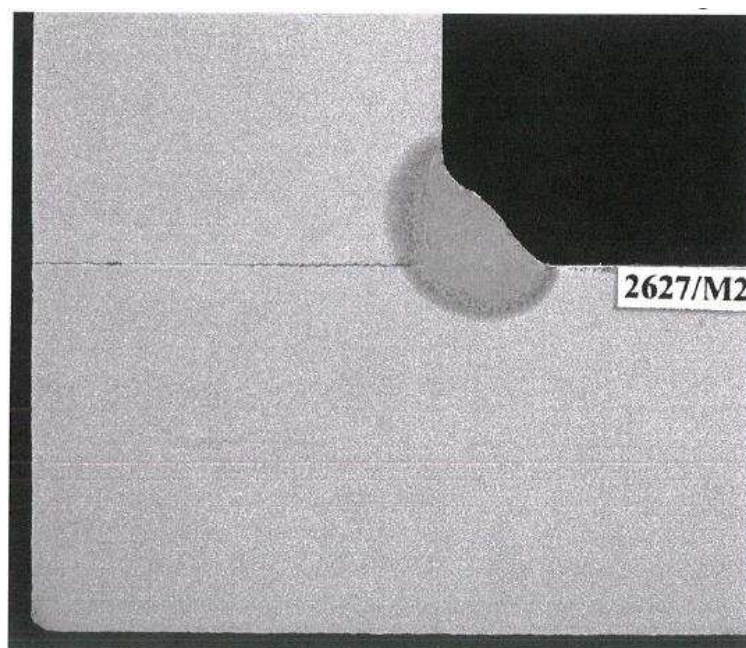
*Tab. 24 Výsledky zkoušky tvrdosti koutového svaru a5*

Zkouška tvrdosti ČSN EN ISO 9015-1						
Číslo vzorku	Oblast zkoušení					
	ZM	TOO	SK	TOO	ZM	Hodnocení
2627-M1-1	150	287	228	276	160	Vyhověl
2627-M1-2	166	294	212	289	160	Vyhověl
2627-M1-3	155	286	231	282	184	Vyhověl
2627-M1-4	169	303	241	261	170	Vyhověl



*Obr. 23 Makrostruktura svarového spoje a5- vzorek M1*

Velikost koutového svaru a = 5,5mm, TOO = 2,9mm, makrostruktura bez vad.



**Obr. 24** Makrostruktura svarového spoje a5- vzorek M2

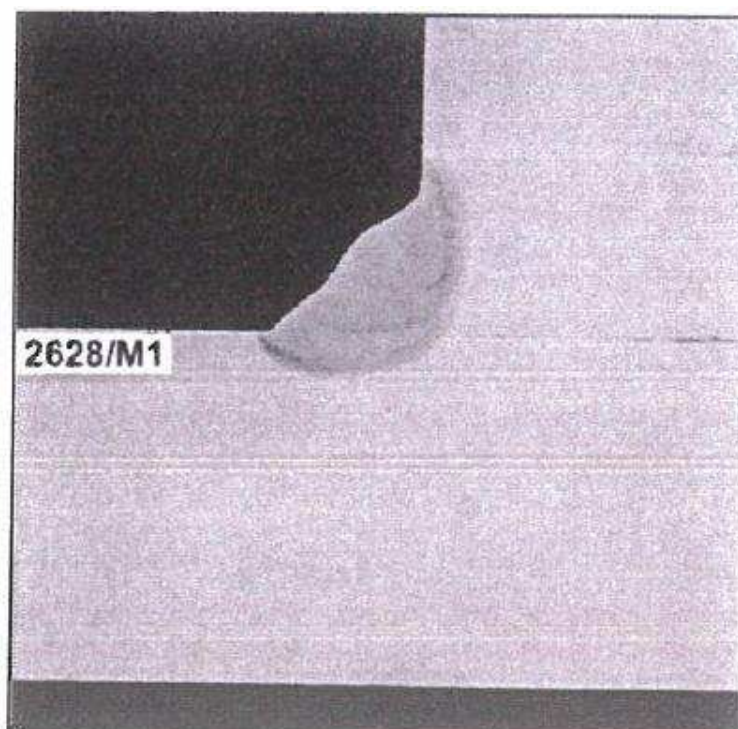
Velikost koutového svaru a = 5,5mm, TOO = 3,3mm, makrostruktura bez vad.

### 3.5.4 Koutový svar a8

**Tab. 25** Výsledky zkoušky tvrdosti koutového svaru a8

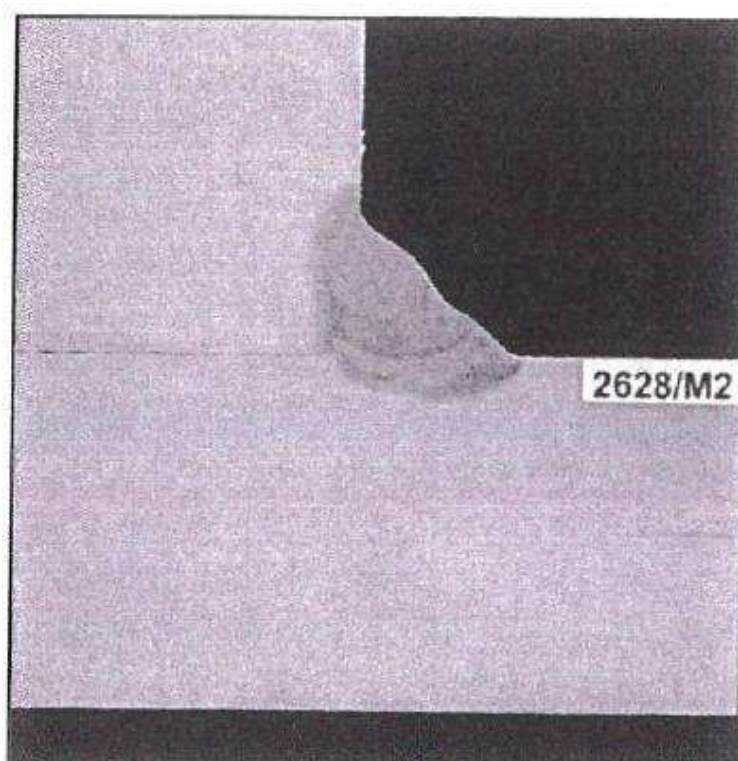
Zkouška tvrdosti ČSN EN ISO 9015-1						
Číslo vzorku	Oblast zkoušení					Hodnocení
	ZM	TOO	SK	TOO	ZM	
2628-M1-1	150	317	218	242	179	Vyhověl
2628-M1-2	170	249	203	236	156	Vyhověl
2628-M1-3	160	280	204	235	164	Vyhověl
2628-M1-4	160	237	207	234	152	Vyhověl





**Obr. 25** Makrostruktura svarového spoje a8- vzorek M1

Velikost koutového svaru  $a = 8,8\text{mm}$ ,  $\text{TOO} = 2,9\text{mm}$ , makrostruktura bez vad.



**Obr. 26** Makrostruktura svarového spoje a8- vzorek M2

Velikost koutového svaru  $a = 8,4\text{mm}$ ,  $\text{TOO} = 3,3\text{mm}$ , makrostruktura bez vad.

**3.5.5 ½ V svar na trubce Ø 219,1 mm x 23,01 mm***Tab. 26 Výsledky příčné zkoušky tahem ½ V svaru na trubce*

Příčná zkouška tahem ČSN EN ISO 6892-1				
Číslo vzorku	Teplota [°C]	Rm [MPa]	Místo porušení	Hodnocení
2629/1/T1	+20	530	Mimo svár	Vyhověl
2629/1/T2	+20	532	Mimo svár	Vyhověl
2629/2/T1	+20	535	Mimo svár	Vyhověl
2629/2/T2	+20	536	Mimo svár	Vyhověl

Úkolem této zkoušky bylo stanovit Rm (mez pevnosti), jejíž hodnota nesměla být nižší než 490 MPa. Toto kritérium bylo splněno.

*Obr. 27 Vzorky č. 2629 po příčné zkoušce tahem*

**Tab. 27** Výsledky zkoušky lámavosti  $\frac{1}{2}$  V svaru na trubce

Zkouška lámavosti ČSN EN ISO 5173						
Číslo vzorku	Teplota [°C]	Ø trnu [mm]	Úhel ohybu	Orientace ohybu	Poznámka	Hodnocení
2629/1/O1	+20	40	180°	Boční ohyb	Bez porušení	Vyhověl
2629/1/O2	+20	40	180°	Boční ohyb	Bez porušení	Vyhověl
2629/1/O3	+20	40	180°	Boční ohyb	Bez porušení	Vyhověl
2629/1/O4	+20	40	180°	Boční ohyb	Bez porušení	Vyhověl
2629/2/O1	+20	40	180°	Boční ohyb	Bez porušení	Vyhověl
2629/2/O2	+20	40	180°	Boční ohyb	Bez porušení	Vyhověl
2629/2/O3	+20	40	180°	Boční ohyb	Bez porušení	Vyhověl
2629/2/O4	+20	40	180°	Boční ohyb	Bez porušení	Vyhověl

Z důvodu tloušťky základního materiálu větší než 12mm byl na zkušebních vzorcích proveden boční ohyb. Kritériem je, že se během zkoušky nesmí na žádném ze vzorků objevit jednotlivá vada, v jakémkoli směru větší než 3mm. Pokud se během zkoušení objeví vady na hranách zkušební tyče, nesmí být brány v úvahu. Na žádném ze vzorků se neobjevila nepřijatelná vada.

**Obr. 28** Část vzorků č. 2629 po bočním ohybu



**Tab. 28** Výsledky zkoušky rázem v ohybu ½ V svaru na trubce

Zkouška rázem v ohybu ČSN EN ISO 148-1							
Číslo vzorku	Teplota [°C]	Umístění vzorku	Naměřené hodnoty			Průměr	Hodnocení
2629/1/V1-V3	-40	VWT	97	94	94	95	Vyhověl
2629/1/V4-V6	-40	VHT	221	279	267	256	Vyhověl
2629/1/V7-V9	-40	VHT	80	135	65	93	Vyhověl
2629/1/V10-V12	-40	VHT	174	191	237	201	Vyhověl
2629/2/V1-V3	-40	VWT	53	44	44	47	Vyhověl
2629/2/V4-V6	-40	VHT	123	169	112	135	Vyhověl
2629/2/V7-V9	-40	VHT	127	144	135	135	Vyhověl
2629/2/V10-V12	-40	VHT	45	59	42	49	Vyhověl

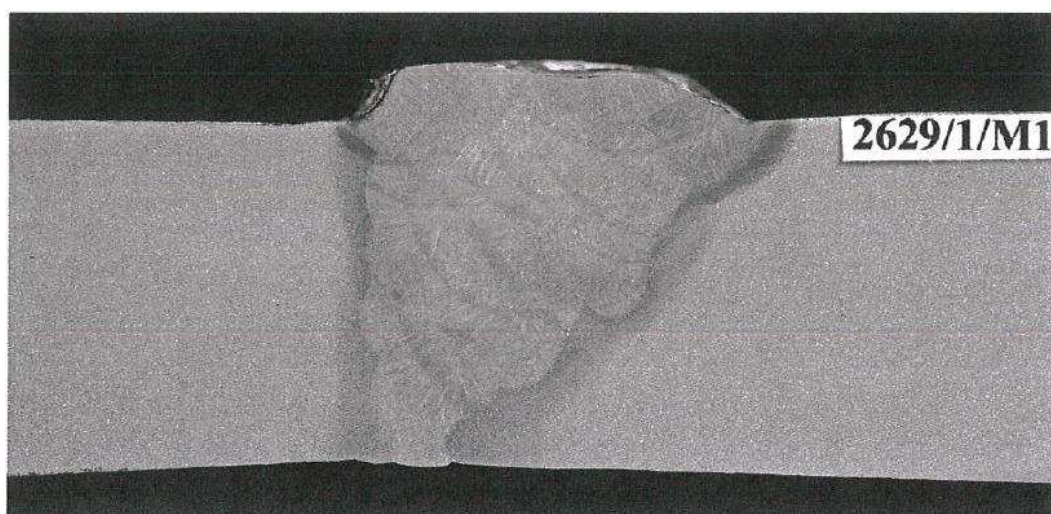
Dle požadavku norem ČSN EN ISO 15614-1 a Norsok M101 byly na zkušebních vzorcích zhotoveny V-vrub hloubky 2 mm. Vruby vzorků byly umístěny jak ve svarovém kovu (VWT), tak i v tepelně ovlivněné oblasti (VHT). Minimální hodnota nárazové práce je 36 J.

**Obr. 29** Vzorky připravené na zkoušku rázem v ohybu



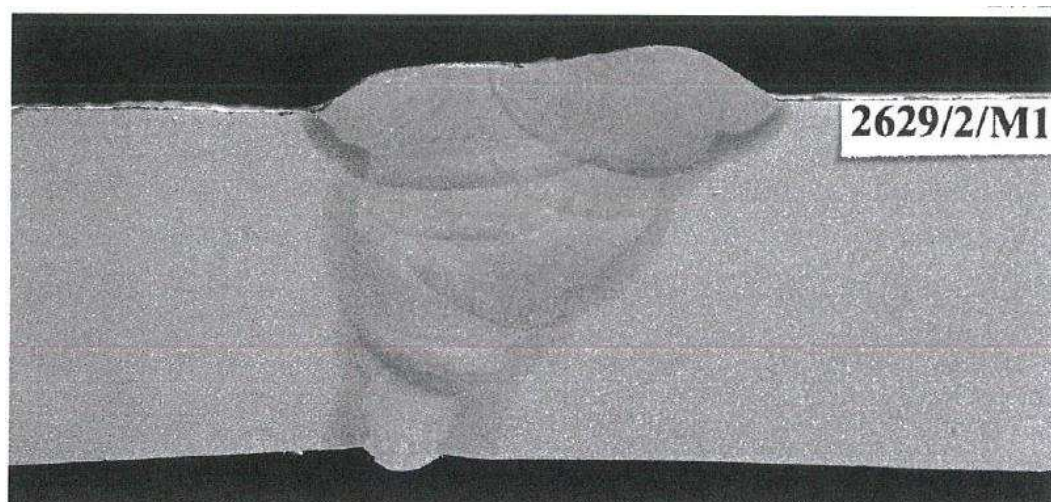
**Tab. 29** Výsledky zkoušky tvrdosti  $\frac{1}{2}$  V svaru na trubce

Zkouška tvrdosti ČSN EN ISO 9015-1						
Číslo vzorku	Oblast zkoušení					
	ZM	TOO	SK	TOO	ZM	Hodnocení
2629/1/M1-1	186	230	206	309	185	Vyhověl
2629/1/M1-2	170	208	192	237	172	Vyhověl
2629/2/M1-1	173	237	239	219	177	Vyhověl
2629/2/M1-2	175	245	205	203	179	Vyhověl



**Obr. 30** Makrostruktura svarového spoje  $\frac{1}{2}$  V na trubce v poloze PC

Šířka TOO je maximálně 6,0 mm, makrostruktura bez vad.



**Obr. 31** Makrostruktura svarového spoje  $\frac{1}{2}$  V na trubce v poloze PH

Šířka TOO je maximálně 3,0 mm, makrostruktura bez vad.

**Tab. 30** Výsledky CTOD zkoušení trubky Ø219.1 zavařené v poloze PC

Umístění	Vzorek	$a_o$ [mm]	F [N]	$V_p$ [mm]	Nestabilní lom	$\delta$ [mm]
3 Svarový kov	3 SK-1	10.20	21707	2.077	NE	> 0.609
	3 SK-2	9.15	27171	2.271	NE	> 0.768
	3 SK-3	10.05	24914	2.278	NE	> 0.689
3 TOO Hrubozrnné pásmo	3 HAZ-1	9.83	27573	2.285	NE	> 0.720
	3 HAZ-2	10.37	22713	2.27	NE	> 0.654
	3 HAZ-3	10.15	25064	2.278	NE	> 0.683
3 TOO subkritická a interkritická oblast	3 CHAZ-1	8.70	33256	2.301	NE	> 0.840
	3 CHAZ-2	10.60	22795	2.273	NE	> 0.638
	3 CHAZ-3	10.60	23000	2.274	NE	> 0.640

**Tab. 31** Výsledky CTOD zkoušení trubky Ø219.1 zavařené v poloze PH

Umístění	Vzorek	$a_o$ [mm]	F [N]	$V_p$ [mm]	Nestabilní lom	$\delta$ [mm]
4 Svarový kov	4 SK-1	9,30	26114	2,283	NE	> 0.755
	4 SK-2	9,09	26408	2,196	NE	> 0.746
	4 SK-3	9,38	26794	2,126	NE	> 0.703
4 TOO Hrubozrnné pásmo	4 HAZ-1	9,28	27799	2,286	NE	> 0.764
	4 HAZ-2	9,21	28639	2,295	NE	> 0.776
	4 HAZ-3	9,01	29378	2,298	NE	> 0.796
4 TOO subkritická a interkritická oblast	4 CHAZ-1	8,92	28002	2,307	NE	> 0.802
	4 CHAZ-2	9,61	23638	2,297	NE	> 0.724
	4 CHAZ-3	9,45	23730	2,283	NE	> 0.733

**K-svar na plechu****Tab. 32** Výsledky příčné zkoušky tahem K-svaru na plechu

Příčná zkouška tahem ČSN EN ISO 6892-1				
Číslo vzorku	Teplota [°C]	Rm [MPa]	Místo porušení	Hodnocení
2624/T1A	+20	534	Mimo svár	Vyhověl
2624/T1B	+20	526	Mimo svár	Vyhověl
2624/T2A	+20	531	Mimo svár	Vyhověl
2624/T2B	+20	532	Mimo svár	Vyhověl

Vzorky byly umístěny tak, aby pokryly celou tloušťku svarové desky. Minimální hodnota meze pevnosti Rm je stejně jako u 1/2v svaru na trubce 490MPa. Tomuto kritériu zkušební vzorky vyhověly.

**Obr. 32** Vzorky č. 2624 po provedené příčné zkoušce tahem**Tab. 33** Výsledky podélné zkoušky tahem K-svaru na plechu

Podélná zkouška tahem ČSN EN ISO 6892-1							
Číslo vzorku	Teplota [°C]	Rm [MPa]	Rp 0,2 [MPa]	A <sub>5</sub> [%]	Z [%]	Místo porušení	Hodnocení
2624/T3	+20	533	361	33,0	72,4	Ø9,90mm	Vyhověl
2624/T4	+20	541	375	30,8	70,4	Ø9,90mm	Vyhověl

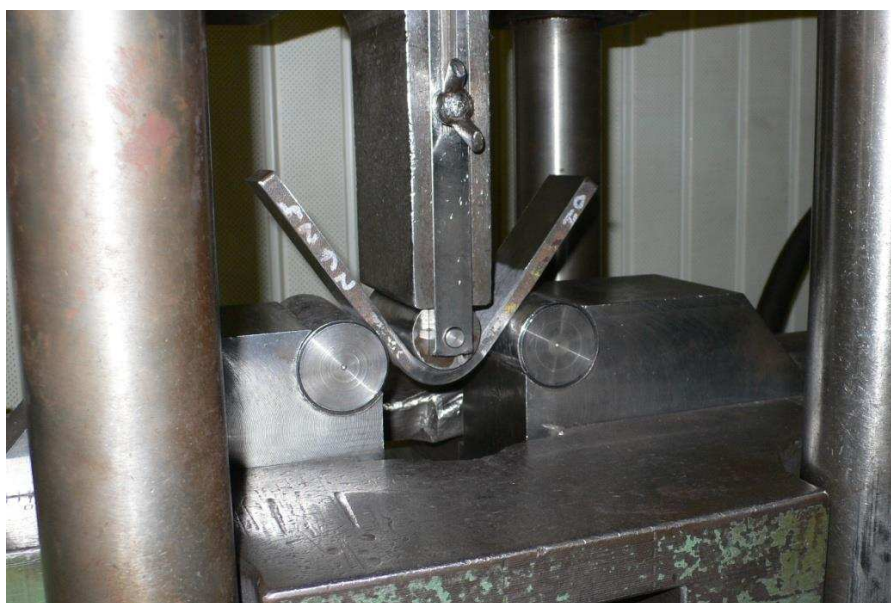


Podélná zkouška tahem byla provedena na základě požadavku DNV-OS-C401. Minimum pro mez pevnosti je 490 MPa, což bylo zkouškou splněno.

**Tab. 34** Výsledky zkoušky lámavosti K-svaru na plechu

Zkouška lámavosti ČSN EN ISO 5173						
Číslo vzorku	Teplota [°C]	Ø trnu [mm]	Úhel ohybu	Orientace ohybu	Poznámka	Hodnocení
2624/O1	+20	40	180°	Boční ohyb	Bez porušení	Vyhověl
2624/O2	+20	40	180°	Boční ohyb	Bez porušení	Vyhověl
2624/O3	+20	40	180°	Boční ohyb	Bez porušení	Vyhověl
2624/O4	+20	40	180°	Boční ohyb	Bez porušení	Vyhověl

Všechny 4 vzorky byly po provedení ohybu bez trhlin.



**Obr.33** Jeden ze vzorků 2624 při ohybu

**Tab. 35** Výsledky zkoušky rázem v ohybu K-svaru na plechu při -40°C

Zkouška rázem v ohybu ČSN EN ISO 148-1							
Číslo vzorku	Teplota [°C]	Umístění vzorku	Naměřené hodnoty			Průměr	Hodnocení
2624 V1-V3	-40	VWT	87	88	88	88	Vyhověl
2624 V4-V6	-40	VHT	118	133	121	124	Vyhověl
2624 V7-V9	-40	VHT	88	85	93	89	Vyhověl
2624 V10-V12	-40	VHT	113	132	121	122	Vyhověl
2624 V13-V15	-40	VWT	90	88	100	93	Vyhověl
2624 V16-V18	-40	VHT	137	117	104	119	Vyhověl

Minimální hodnota nárazové práce je 36J. Kritérium bylo splněno.

**Tab. 36** Výsledky zkoušky rázem v ohybu K-svaru na plechu při -50°C

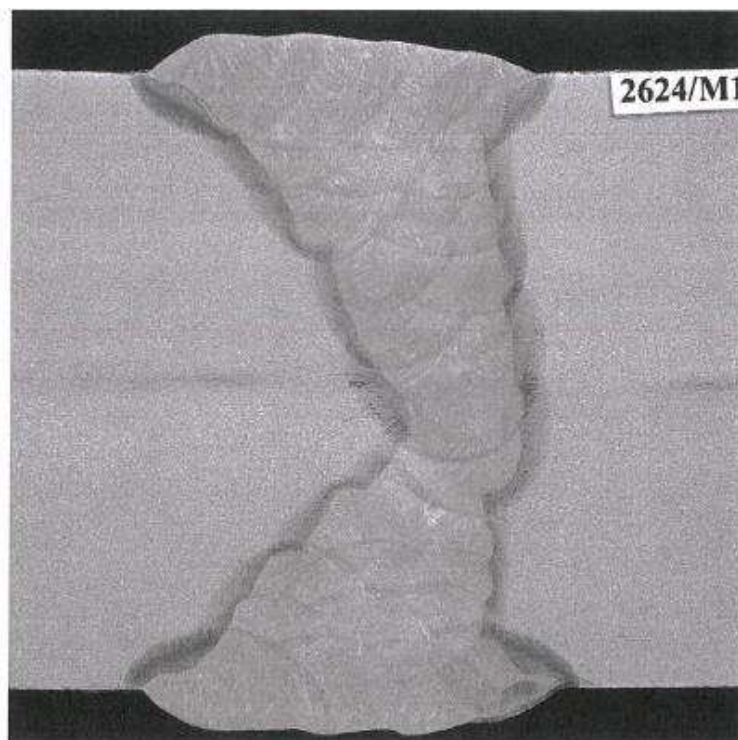
Zkouška rázem v ohybu ČSN EN ISO 148-1							
Číslo vzorku	Teplota [°C]	Umístění vzorku	Naměřené hodnoty			Průměr	Hodnocení
2624 V1-V3	-50	VWT	30	35	36	34	Vyhověl
2624 V4-V6	-50	VHT	71	73	110	85	Vyhověl
2624 V7-V9	-50	VHT	53	32	46	44	Vyhověl
2624 V10-V12	-50	VHT	91	80	100	90	Vyhověl
2624 V13-V15	-50	VWT	36	53	45	45	Vyhověl
2624 V16-V18	-50	VHT	30	41	43	38	Vyhověl

Zkouška rázem v ohybu při teplotě -50°C nebyla žádnou z řídících norem požadována. Byla zhotovena pro rozšíření kvalifikace pro případ potřeby. Minimální hodnota nárazové práce při teplotě zkoušení -50°C je 27 J. Kritérium bylo splněno.

**Tab. 37** Výsledky zkoušky tvrdosti K-svaru na plechu

Zkouška tvrdosti ČSN EN ISO 9015-1						
Číslo vzorku	Oblast zkoušení					Hodnocení
	ZM	TOO	SK	TOO	ZM	
2624-M1-1	155	271	226	301	162	Vyhověl
2624-M1-2	149	244	210	211	159	Vyhověl
2624-M1-3	160	269	224	270	156	Vyhověl

Maximální tvrdost dle EN ISO 15614-1 je 380HV10, dle DNV-OS-C401 350 HV10. Při zkoušce bylo naměřeno max. 301HV10, tudíž kritérium bylo splněno.



**Obr. 34** Makrostruktura K-svaru na plechu

Šířka TOO je maximálně 2,5 mm, makrostruktura bez vad.

**Tab. 38** Výsledky CTOD zkoušení plechu ve stavu po svaření

Umístění	Vzorek	$a_0$ [mm]	F [N]	$V_p$ [mm]	Nestabilní lom	$\delta$ [mm]
1 Svarový kov	1 SK-1	25,02	133510	2,029	NE	> 0,687
	1 SK-2	24,90	134610	2,012	NE	> 0,686
	1 SK-3	25,28	128490	2,017	NE	> 0,671
1 TOO Hrubozrnné pásmo	1 HAZ-1	25,51	115076	2,52	NE	> 0,785
	1 HAZ-2	25,30	127590	2,044	NE	> 0,677
	1 HAZ-3	24,84	131670	2,105	NE	> 0,71
1 TOO subkritická a interkritická oblast	1 CHAZ-1	25,96	93675	1,308	ANO	0,414
	1 CHAZ-2	25,70	108639	2,247	ANO	0,695
	1 CHAZ-3	25,44	87507	0,951	ANO	0,314

**Tab. 39** Výsledky CTOD zkoušení plechu ve stavu po žihání

Umístění	Vzorek	Délka trhliny $a_0$ [mm]	Aplikovaná síla $F$ [N]	Rozevření vrubu $V_p$ [mm]	Nestabilní lom	$\delta$ [mm]
2 Svarový kov	2 SK-1	24,65	136360	3,775	NE	> <b>0,687</b>
	2 SK-2	24,31	140414	3,816	NE	> <b>0,686</b>
	2 SK-3	25,21	130460	3,775	NE	> <b>0,671</b>
2 TOO Hrubozrnné pásmo	2 HAZ-1	24,64	142495	3,839	NE	> <b>0,785</b>
	2 HAZ-2	24,43	143166	3,74	NE	> <b>0,677</b>
	2 HAZ-3	24,41	145935	3,852	NE	> <b>0,71</b>
2 TOO subkritická a interkritická oblast	2 CHAZ-1	24,53	136670	3,162	ANO	<b>0,414</b>
	2 CHAZ-2	24,42	147035	3,876	ANO	<b>0,695</b>
	2 CHAZ-3	24,31	140758	3,741	ANO	<b>0,314</b>

### 3.6 Rozsah realizovaných WPQR

Výsledné kvalifikace postupu svařování platné dle norem ČSN EN ISO 15614-1, NORSOK M101: 2011 a DNV-OS-C401: 2013.

#### 3.6.1 Koutový svar a3

**Tab. 40** Rozsah WPQR - 03

Rozsah kvalifikace			
Tloušťka mat. dle EN ISO 15614-1	Tloušťka mat. dle DNV-OS-C401:2003	Průměr	Velikost koutového svaru
≥ 5,0 mm	15,0 – 60,0 mm	D≥ 35,0 mm	EN ISO 156414-1: a=3 DNV-OS-C401:2013: a=2,25 – 4,5mm
Základní materiál			
Označení:	P355NL2N (C=0,17; CEV=0,42;P <sub>CM</sub> =0,26) podle ČSN EN 10027-1		
Třída:	1.2 dle TNI CEN ISO/TR 15608:2008		
Proces svařování dle EN ISO 4063			
Metoda svařování:	138	Stupeň mechanizace:	částečná
Poloha svařování	PB	Poloha svařování (DNV-OS-C401:2013)	1F, 2F, 4F
Svařovací materiál			
MEGAFIL 710M; EN ISO 17632 A/B: T 46 6 M M 1 H5/T556T15 1MAP H5			
Ochranný plyn			
82% Ar + 18% CO <sub>2</sub> ; ČSN EN ISO 14175 – M21			
Ostatní údaje			
Vnesené teplo:	Předehřev:	Interpass:	Polarita:
0,69 – 0,94 kJ*mm <sup>-1</sup>	80°C	max. 150°C	DC/+



### 3.6.2 Koutový svar a4

**Tab. 41** Rozsah WPQR - 04

Rozsah kvalifikace			
Tloušťka mat. dle EN ISO 15614-1	Tloušťka mat. dle DNV-OS-C401:2003	Průměr	Velikost koutového svaru
≥ 5,0 mm	15,0 – 60,0 mm	D≥ 35,0 mm	EN ISO 15614-1: a=4 DNV-OS-C401:2013: a=3,0 – 6,0 mm
Základní materiál			
Označení:	P355NL2N (C=0,17; CEV=0,42;P <sub>CM</sub> =0,26) podle ČSN EN 10027-1		
Třída:	1.2 dle TNI CEN ISO/TR 15608:2008		
Proces svařování dle EN ISO 4063			
Metoda svařování:	138	Stupeň mechanizace:	částečná
Poloha svařování	PB	Poloha svařování (DNV-OS-C401:2013)	1F, 2F, 4F
Svařovací materiál			
MEGAFIL 710M; EN ISO 17632 A/B: T 46 6 M M 1 H5/T556T15 1MAP H5			
Ochranný plyn			
82% Ar + 18% CO <sub>2</sub> ; ČSN EN ISO 14175 – M21			
Ostatní údaje			
Vnesené teplo:	Přehřev:	Interpass:	Polarita:
0,84 – 1,14 kJ*mm <sup>-1</sup>	80°C	max. 150°C	DC/+

Kvalifikován je pouze koutový svar na plechu a na trubce.

### 3.6.3 Koutový svar a5

Tab. 42 Rozsah WPQR - 05

Rozsah kvalifikace			
Tloušťka mat. dle EN ISO 15614-1	Tloušťka mat. dle DNV-OS-C401:2003	Průměr	Velikost koutového svaru
≥ 5,0 mm	15,0 – 60,0 mm	D≥ 35,0 mm	EN ISO 15614-1: a=5 DNV-OS-C401:2013: a=3,75 – 7,50 mm
Základní materiál			
Označení:	P355NL2N (C=0,17; CEV=0,42;P <sub>CM</sub> =0,26) podle ČSN EN 10027-1		
Třída:	1.2 dle TNI CEN ISO/TR 15608:2008		
Proces svařování dle EN ISO 4063			
Metoda svařování:	138	Stupeň mechanizace:	částečná
Poloha svařování	PB	Poloha svařování (DNV-OS-C401:2013)	1F, 2F, 4F
Svařovací materiál			
MEGAFIL 710M; EN ISO 17632 A/B: T 46 6 M M 1 H5/T556T15 1MAP H5			
Ochranný plyn			
82% Ar + 18% CO <sub>2</sub> ; ČSN EN ISO 14175 – M21			
Ostatní údaje			
Vnesené teplo:	Přehřev:	Interpass:	Polarita:
1,33 – 1,81 kJ*mm <sup>-1</sup>	80°C	max. 150°C	DC/+

Kvalifikován je pouze koutový svar na plechu a na trubce.

### 3.6.4 Koutový svar a8

**Tab. 43** Rozsah WPQR - 06

Rozsah kvalifikace			
Tloušťka mat. dle EN ISO 15614-1	Tloušťka mat. dle DNV-OS-C401:2003	Průměr	Velikost koutového svaru
≥ 5,0 mm	15,0 – 60,0 mm	D≥ 35,0 mm	EN ISO 15614-1: a= neomezeno DNV-OS-C401:2013: a=15 – 60 mm
Základní materiál			
Označení:	P355NL2N (C=0,17; CEV=0,42;P <sub>CM</sub> =0,26) podle ČSN EN 10027-1		
Třída:	1.2 dle TNI CEN ISO/TR 15608:2008		
Proces svařování dle EN ISO 4063			
Metoda svařování:	138	Stupeň mechanizace:	částečná
Poloha svařování	PB	Poloha svařování (DNV-OS-C401:2013)	1F, 2F, 4F
Svařovací materiál			
MEGAFIL 710M; EN ISO 17632 A/B: T 46 6 M M 1 H5/T556T15 1MAP H5			
Ochranný plyn			
82% Ar + 18% CO <sub>2</sub> ; ČSN EN ISO 14175 – M21			
Ostatní údaje			
Vnesené teplo:	Přehřev:	Interpass:	Polarita:
1,33 – 1,81 kJ*mm <sup>-1</sup>	80°C	max. 150°C	DC/+

Kvalifikován je pouze koutový svar na plechu a na trubce.

**3.6.5 ½ V svar na trubce Ø 219,1 mm x 23,01 mm****Tab. 44** Rozsah WPQR – 01/02

Rozsah kvalifikace					
Tloušťka mat. dle EN ISO 15614-1		Tloušťka mat. dle DNV-OS-C401:2003		Průměr	Velikost koutového svaru
BW: 11,505 – 46,02 mm FW: 11,505 – 46,02 mm		11,505 – 46,02 mm		D≥ 109,55 mm	EN ISO 15614-1: a= neomezeno DNV-OS-C401:2013: a=11,505 – 46,02 mm
Základní materiál					
Označení:	P355NL2TC1 (C=0,15; CEV=0,406;P <sub>CM</sub> =0,241) dle ČSN EN 10027-1				
Třída:	1.2 dle TNI CEN ISO/TR 15608:2008				
Proces svařování dle EN ISO 4063					
Metoda svařování:	138		Stupeň mechanizace:	částečná	
Poloha svařování:	Všechny polohy kromě PG a J-L045		Poloha svařování (DNV-OS-C401:2013)	Všechny polohy	
Svařovací materiál					
MEGAFIL 710M; EN ISO 17632 A/B: T 46 6 M M 1 H5/T556T15 1MAP H5					
Ochranný plyn					
82% Ar + 18% CO <sub>2</sub> ; ČSN EN ISO 14175 – M21					
Ostatní údaje					
Vnesené teplo:	Předehřev:	Interpass:	Úhel odbočky:	Polarita:	
0,59 – 1,80 kJ*mm <sup>-1</sup>	75°C	max. 150°C	α≥60°C	DC/+	

Kvalifikovány jsou všechny typy svarů kromě T-spoje na plechu.

**3.6.6 K-svar na desce tloušťky 50 mm****Tab. 45 Rozsah WPQR - 07**

Rozsah kvalifikace			
Tloušťka mat. dle EN ISO 15614-1	Tloušťka mat. dle DNV-OS-C401:2003	Průměr	Velikost koutového svaru
BW: 25,0 – 100,0 mm FW: ≥ 5 mm	25,0 – 100,0 mm	D> 500 mm, nebo>150 mm rotačně v PA	EN ISO 15614-1: a= neomezeno DNV-OS-C401:2013: a=25 –100 mm
Základní materiál			
Označení:	P355NL2TC1 (C=0,177; CEV=0,42;P <sub>CM</sub> =0,264) dle ČSN EN 10027-1		
Třída:	1.2 dle TNI CEN ISO/TR 15608:2008		
Proces svařování dle EN ISO 4063			
Metoda svařování:	138	Stupeň mechanizace:	částečná
Poloha svařování:	PA	Poloha svařování (DNV-OS-C401:2013)	1G, 1F
Svařovací materiál			
MEGAFIL 710M; EN ISO 17632 A/B: T 46 6 M M 1 H5/T556T15 1MAP H5			
Ochranný plyn			
82% Ar + 18% CO <sub>2</sub> ; ČSN EN ISO 14175 – M21			
Ostatní údaje			
Vnesené teplo:	Předehřev:	Interpass:	Polarita:
Kořen: 0,41 – 0,68 kJ*mm <sup>-1</sup> Výplň: 0,66 – 1,09 kJ*mm <sup>-1</sup>	75°C	max. 220°C	DC/+

Kvalifikován je oboustranný tupý svár na plechu s drážkovaným kořenem, koutový svar na plechu a oboustranný tupý svar na trubce s drážkovaným kořenem.

## 4 Závěr

Diplomová práce se zaměřuje na kvalifikaci postupu svařování vybraných typů svarových spojů pro offshore konstrukce. V teoretické části jsou zmíněny a stručně popsány nejčastější typy konstrukcí, které se používají pro těžbu ropy nebo zemního plynu. Dále pak metody svařování, které budou při kvalifikaci a výrobě použity.

Teoretická část pokračuje popisem ochranných plynů, parametrů a podmínek svařování, specifikací přídavného materiálu a požadavků na základní materiál. Na něj jsou pro tyto aplikace kladeny větší nároky než na základní materiál pro běžné použití. Popsány jsou dále reprezentační typy svarových spojů pro danou konstrukci, čímž práce pomalu přechází do praktické části. Uvedeny jsou jednotlivé dílce, pro které bude postup svařování kvalifikován.

Kvalifikace postupu svařování je mimo požadavky normy ČSN EN ISO 15614-1 rozšířena o požadavky NORSOK M101, a ty jsou popsány na začátku praktické části. Praktická část se dá rozdělit do tří dílčích částí. První část je výroba vzorků pro kvalifikaci svařování, druhá je seznam nedestruktivního a destruktivního zkoušení a třetí část obsahuje výsledky zkoušení a rozsahy samotných kvalifikací.

Samotné výrobě vzorků pro kvalifikaci svařování předchází předběžná specifikace postupu svařování a příprava svarových hran. Průběh svařování byl dozorován a všechny údaje byly zaznamenány.

Dále byl stanoven rozsah nedestruktivního a destruktivního zkoušení pro jednotlivé vzorky. Dle rozřezových plánů pak byly jednotlivé vzorky ze zkušebních svarových vzorků odebrány. Z výsledků testování pak bylo možno vystavit samotné kvalifikace postupu svařování.

Stanoveným postupem bylo dosaženo požadovaných kvalifikací postupu svařování, na jejichž základě je společnost oprávněna dané konstrukce vyrábět.

## 5 Literatura

- [1] KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T. *Svařování I*. Učební texty. 1 vydání. VŠB-TUO Ostrava 2005. 133 s. ISBN 80-248-0870-6.
- [2] KOUKAL, J., SCHWARY, D., HAJDÍK, J. *Materiály a jejich svařitelnost*. Učební texty. 1. Vydání. VŠB-TU Ostrava 2009. 240 s. ISBN 978-80-248-2025-5.
- [3] HRIVŇÁK, I. *Teória zvariteľnosti kovov a zliatin*. 1. Vydání. VSAV Bratislava 1989. 344 s. ISBN 80-224-0016-5.
- [4] PILOUS, V. *Materiály a jejich chování při svařování*. Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. ZČU Plzeň, fakulta strojní. Plzeň 2009. 75 s.
- [5] KUBÍČEK, J., DANĚK, L., KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení*. Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. VÚT Brno – fakulta strojního inženýrství. Plzeň 2011. 242 s.
- [6] ČSN EN ISO 15614-1, Květen 2005, *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Zkouška postupu svařování – Část 1: Obloukové a plamenové svařování ocelí a obloukové svařování niklu a slitin niklu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [7] NORSOK M 101. *Structural fabrication*. Standards Norway. Edition 5. October 2011. 62 s.
- [8] ČSN EN 10025-1. *Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí – Část 1: Všeobecné technické dodací podmínky*. Praha: Český normalizační institut, Září 2005.
- [9] ČSN EN 10225. *Svařitelné konstrukční ocelí pro ropná zařízení ukotvená při pobřeží – Technické dodací podmínky*. Praha: Český normalizační institut, Květen 2010.
- [10] ČSN EN ISO 9692-1. *Svařování a příbuzné procesy – Doporučení pro přípravu svarových spojů- Část 1: Svařování ocelí ručně obloukovým svařováním obalenou elektrodou, tavící se elektrodou v ochranném plynu, plamenovým svařováním, svařováním wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu a svařováním svazkem paprsků*. Praha: Český normalizační institut, Březen 2014.
- [11] ČSN EN ISO 9692-1. *Svařování a příbuzné procesy – Doporučení pro přípravu svarových spojů- Část 1: Svařování ocelí ručně obloukovým svařováním obalenou elektrodou, tavící se elektrodou v ochranném plynu, plamenovým svařováním,*



*svařováním wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu a svařováním svazkem paprsků.* Praha: Český normalizační institut, Březen 2014.

[12] ČSN EN ISO 12737. *Kovové materiály – Stanovení lomové houževnatosti při rovinné deformaci.* Praha: Český normalizační institut, Duben 2011.

[13] ČSN EN 14341. *Svařovací materiály – Drátové metody pro obloukové svařování nelegovaných a jemnozrnných ocelí v ochranném plynu a jejich svarové kovy – klasifikace.* Praha: Český normalizační institut, Červenec 2011.

[14] ČSN EN ISO 15609-1. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Stanovení postupu svařování – Část 1: Obloukové svařování.* Praha: Český normalizační institut, Červenec 2005.

[15] *Offshore construction.* Wikipedia. [online]. [cit. 12. 01. 2015]. Dostupné z WWW: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Offshore\\_construction](https://en.wikipedia.org/wiki/Offshore_construction)>.

[16] *Výroba svařované konstrukce pro záchranný systém ropné plošiny LA1200 SU.* Konstrukce – odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství. [online]. [cit. 18. 01. 2015]. Dostupné z WWW: < <http://www.konstrukce.cz/clanek/vyroba-svarovane-konstrukce-pro-zachranny-system-ropne-plosiny-la1200-su/>>.

[17] *Mořské plošiny, výzva vědě a ekologii.* [online]. [cit. 05. 02. 2015]. Dostupné z WWW: < <http://casopis.vesmir.cz/clanek/morske-plosiny>>.

[18] *MIG/MAG (CO<sub>2</sub>).* Automing – internetový magazín. [online]. [cit. 10. 02. 2015]. Dostupné z WWW: <<http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>>.

[19] *Svařování MIG/MAG, MIG svařování, MAG svařování, svařování plněnou elektrodou.* [online]. [cit. 08. 03. 2015]. Dostupné z WWW: <<http://www.schinkmann.cz/mig-mag-co2>>.

[20] *MIG/MAG svařování.* [online]. [cit. 01. 03. 2015]. Dostupné z WWW: <[http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID8EB460DCFEFA213C/fronius\\_ceska\\_republika/hs.xsl/29\\_3916.htm#Anwendung](http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID8EB460DCFEFA213C/fronius_ceska_republika/hs.xsl/29_3916.htm#Anwendung)>.

[21] *MIG nebo MAG? Jaký je rozdíl?* Svarinfo – Magazín praktického svařování. [online]. [cit. 25.03. 2015]. Dostupné z WWW: < <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2007101501> obrázek tvaru závaru 2.1.4>.

[22] *Fracture Toughness: Part two*. [online]. [cit. 14. 03. 2015]. Dostupné z WWW: <<http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&LN=CZ&site=kts&NM=294>>.

[23] *Offshore Drilling* [online]. [cit. 14. 03. 2015]. Dostupné z WWW: <<http://naturalgas.org/naturalgas/extraction-offshore>>.

## Seznam tabulek

<b>Tab. 1</b>	<i>Orientační hodnoty parametrů svařování pro metodu MAG na ocel</i>	23
<b>Tab. 2</b>	<i>Specifikace přídavného materiálu Megafil 710 M</i>	31
<b>Tab. 3</b>	<i>Typy svarových hran na zkušebních vzorcích pro WPQR</i>	32
<b>Tab. 4</b>	<i>Přehled prováděných kvalifikací</i>	35
<b>Tab. 5</b>	<i>pWPS_01 – ½ V svar na trubce v poloze PC</i>	36
<b>Tab. 6</b>	<i>Záznam ze svařování WR_01</i>	37
<b>Tab. 7</b>	<i>pWPS_02 - ½ V svar na trubce v poloze PH</i>	38
<b>Tab. 8</b>	<i>Záznam ze svařování WR_02</i>	39
<b>Tab. 9</b>	<i>pWPS_03 – koutový svar velikosti a3</i>	40
<b>Tab. 10</b>	<i>Záznam ze svařování WR_03</i>	41
<b>Tab. 11</b>	<i>pWPS_04 - koutový svar velikosti a4</i>	42
<b>Tab. 12</b>	<i>Záznam ze svařování WR_04</i>	43
<b>Tab. 13</b>	<i>pWPS_05 - koutový svar velikosti a5</i>	44
<b>Tab. 14</b>	<i>Záznam ze svařování WR_05</i>	45
<b>Tab. 15</b>	<i>pWPS_06 – koutový svar velikosti a8</i>	46
<b>Tab. 16</b>	<i>Záznam ze svařování WR_06</i>	47
<b>Tab. 17</b>	<i>pWPS_07 – K svar na plechu tloušťky 50 mm</i>	48
<b>Tab. 18</b>	<i>Záznam ze svařování WR_07</i>	49
<b>Tab. 19</b>	<i>Rozsah zkoušení pro koutové svary</i>	52
<b>Tab. 20</b>	<i>Rozsah zkoušení pro ½ V svar na trubce</i>	53
<b>Tab. 21</b>	<i>Rozsah zkoušení pro K-svar na desce</i>	54
<b>Tab. 22</b>	<i>Výsledky zkoušky tvrdosti koutového svaru a3</i>	56
<b>Tab. 23</b>	<i>Výsledky zkoušky tvrdosti koutového svaru a4</i>	57
<b>Tab. 24</b>	<i>Výsledky zkoušky tvrdosti koutového svaru a5</i>	59
<b>Tab. 25</b>	<i>Výsledky zkoušky tvrdosti koutového svaru a8</i>	60
<b>Tab. 26</b>	<i>Výsledky příčné zkoušky tahem ½ V svaru na trubce</i>	62
<b>Tab. 27</b>	<i>Výsledky zkoušky lámavosti ½ V svaru na trubce</i>	63
<b>Tab. 28</b>	<i>Výsledky zkoušky rázem v ohybu ½ V svaru na trubce</i>	64
<b>Tab. 29</b>	<i>Výsledky zkoušky tvrdosti ½ V svaru na trubce</i>	65
<b>Tab. 30</b>	<i>Výsledky CTOD zkoušení trubky Ø219,1 zavařené v poloze PC</i>	66
<b>Tab. 31</b>	<i>Výsledky CTOD zkoušení trubky Ø219,1 zavařené v poloze PH</i>	66

<b>Tab. 32</b> Výsledky příčné zkoušky tahem K-svaru na plechu.....	67
<b>Tab. 33</b> Výsledky podélné zkoušky tahem K-svaru na plechu .....	67
<b>Tab. 34</b> Výsledky zkoušky lámavosti K-svaru na plechu .....	68
<b>Tab. 35</b> Výsledky zkoušky rázem v ohybu K-svaru na plechu při -40°C .....	68
<b>Tab. 36</b> Výsledky zkoušky rázem v ohybu K-svaru na plechu při -50°C .....	69
<b>Tab. 37</b> Výsledky zkoušky tvrdosti K-svaru na plechu.....	69
<b>Tab. 38</b> Výsledky CTOD zkoušení plechu ve stavu po svaření.....	70
<b>Tab. 39</b> Výsledky CTOD zkoušení plechu ve stavu po žíhání.....	71
<b>Tab. 40</b> Rozsah WPQR – 03 .....	72
<b>Tab. 41</b> Rozsah WPQR – 04 .....	73
<b>Tab. 42</b> Rozsah WPQR – 05 .....	74
<b>Tab. 43</b> Rozsah WPQR – 06 .....	75
<b>Tab. 44</b> Rozsah WPQR – 01/02 .....	76
<b>Tab. 45</b> Rozsah WPQR – 07 .....	77

## Seznam obrázků

<i>Obr. 1</i> Schematická ukázka typů offshore konstrukcí .....	12
<i>Obr. 2</i> Svařovací zdroj MAG (MIG).....	16
<i>Obr. 3</i> Charakter přenosu kovu do svarové lázně .....	17
<i>Obr. 4</i> Rozdíly v závaru při použití plynů s různou tepelnou vodivostí .....	21
<i>Obr. 5</i> Vyzvedávací rám.....	27
<i>Obr. 6</i> Sestava 1.....	28
<i>Obr. 7</i> Svařovací výkres 1.....	28
<i>Obr. 8</i> Sestava 2.....	29
<i>Obr. 9</i> Svařovací výkres 2.....	30
<i>Obr. 10</i> Svar na trubce .....	30
<i>Obr. 11</i> Příprava vzorku č. 2629 ke svařování.....	37
<i>Obr. 12</i> Polotovary pro zhotovení vzorků koutových svarů.....	41
<i>Obr. 13</i> Zkušební vzorky koutových svarů .....	43
<i>Obr. 14</i> Zkušební vzorek č. 2628 .....	47
<i>Obr. 15</i> Vzorek č. 2624 v průběhu svařování .....	50
<i>Obr. 16</i> Rozřezový plán svarové desky č. 2624 .....	51
<i>Obr. 17</i> Vzorky připravené na destruktivní zkoušení.....	51
<i>Obr. 18</i> Zkušební vzorky pro stanovení lomové houževnatosti.....	55
<i>Obr. 19</i> Makrostruktura svarového spoje a3-vzorek M1.....	56
<i>Obr. 20</i> Makrostruktura svarového spoje a3-vzorek M2.....	57
<i>Obr. 21</i> Makrostruktura svarového spoje a4-vzorek M1.....	58
<i>Obr. 22</i> Makrostruktura svarového spoje a4-vzorek M2.....	58
<i>Obr. 23</i> Makrostruktura svarového spoje a5-vzorek M1.....	59
<i>Obr. 24</i> Makrostruktura svarového spoje a5-vzorek M2.....	60
<i>Obr. 25</i> Makrostruktura svarového spoje a8-vzorek M1.....	61
<i>Obr. 26</i> Makrostruktura svarového spoje a8-vzorek M2.....	61
<i>Obr. 27</i> Vzorky č. 2629 po příčné zkoušce tahem.....	62
<i>Obr. 28</i> Část vzorků č. 2629 po bočním ohybu.....	63
<i>Obr. 29</i> Vzorky připravené na zkoušku rázem v ohybu .....	64
<i>Obr. 30</i> Makrostruktura svarového spoje 1/2 V na trubce v poloze PC.....	65
<i>Obr. 31</i> Makrostruktura svarového spoje 1/2 V na trubce v poloze PH .....	65
<i>Obr. 32</i> Vzorky č. 2624 po provedené příčné zkoušce tahem .....	67

<b><i>Obr. 33</i></b> <i>Jeden ze vzorků 2624 při ohybu .....</i>	<i>68</i>
<b><i>Obr. 34</i></b> <i>Makrostruktura K-svaru na plechu .....</i>	<i>70</i>

## Seznam příloh

**Příloha č. 1** – Specifikace přídavného materiálu Megafil M710

**Příloha č. 2** – Výrobní výkresy dílu – kvalifikace vícevrstvého koutového svaru

**Příloha č. 3** – Výrobní výkresy dílu – kvalifikace jednovrstvých koutových svarů a  
K-svaru na plechu

**Příloha č. 4** – Výrobní výkres dílu – kvalifikace  $\frac{1}{2}$  V-svaru na trubce